ДОСТОЯНИЕ РОССИИ

РФЯЦ ВНИИЭФ 60 ЛЕТ

1946
2006

Сов.секретно.
(Особая папка)

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

внесенных на утверждение товарища Сталина И.В.

Рассмотрено и принято на Специальном Комитете при Совете Министров СССР.

1. Об увеличении добычи и производства урана.
2. О сроках подготовки, строительства и пуска завода № 817 (котел-реактор-графит) по производству плутония и завода № 816 (диффузионный завод) по производству урана 235.
3. О мерах материально-технического обеспечения строительства заводов № 817 и № 816.
4. О порядке материально-технического обеспечения работ по использованию внутриатомной энергии.
5. Вопросы Первого Главного управления при Совете Министров СССР (об укреплении руководства, расширении функций и структуре Управления).
6. Вопросы лаборатории № 2 Академии наук СССР (об организации при лаборатории Конструкторского бюро по разработке конструкции и изготовлению атомных взрывных бомб).
7. Об изготовлении электролизеров для производства тяжелой воды.
8. Об организации производства специальных фильтров для диффузионного завода.

Л. Берия.
Л. Берия.

«8» апреля 1946 г.

СТРОГО СЕКРЕТНО
(ОСОБАЯ ПАПКА)

ПРОТОКОЛ № 85
ЗАСЕДАНИЯ
Специального комитета
при Совете Министров СССР

От „26" августа 1949 г. г. Москва, Кремль

Члены Специального Комитета т.т. Берия, Маленков, Ванников, Первухин, Завенягин, Курчатов, Махнев.

~~ПРИСУТСТВОВАЛИ:~~

Об испытании первого экземпляра атомной бомбы.

Принять внесенный т.т. Ванниковым, Курчатовым и Первухиным проект Постановления Совета Министров Союза ССР „Об испытании атомной бомбы" и представить его на утверждение Председателя Совета Министров Союза ССР товарища Сталина И.В.

/. проект прилагается./

Председатель
Специального Комитета
при Сов. Мин. СССР

Л. Берия
/Л. Берия/

И. Сталин

ДОСТОЯНИЕ РОССИИ

РФЯЦ-ВНИИЭФ 60 лет

Саров
2006

УДК 623.454.8 (09)
ББК 31.4
Д70

Автор-составитель Н. Н. Богуненко

Достояние России. РФЯЦ-ВНИИЭФ 60 лет. — Саров:
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006. — 320 с. — ил. ISBN 5-9515-0062-1

Наша книга стала продолжением огромного ряда публикаций о различных этапах работ над ядерным оружием. Она посвящена знаменательной дате — 60-летию со дня основания РФЯЦ-ВНИИЭФ (КБ-11), уникального научно-производственного центра. Задача, которую небольшой коллектив КБ-11 начал решать в 1946 году, стала основой его деятельности на десятилетия. Она может быть сформулирована коротко: создание отечественного ядерного щита. Но за этой формулировкой кроется широкий спектр сложных научных, инженерно-конструкторских, технологических и производственных проблем. Успешное решение каждой из них определяло успех работы всех сотрудников первого ядерного центра России.

В книгу вошли очерки об истории создания первых изделий, ставших основой дальнейших разработок, о многолетней деятельности различных подразделений, которые в конечном итоге обеспечивали производство ядерных зарядов, о формировании и развитии многочисленных направлений, определяющих сегодняшнее лицо института. Кроме того, несомненный интерес представляет история города, всемирно известного в наши дни как Саров, и рассказ о его повседневной жизни.

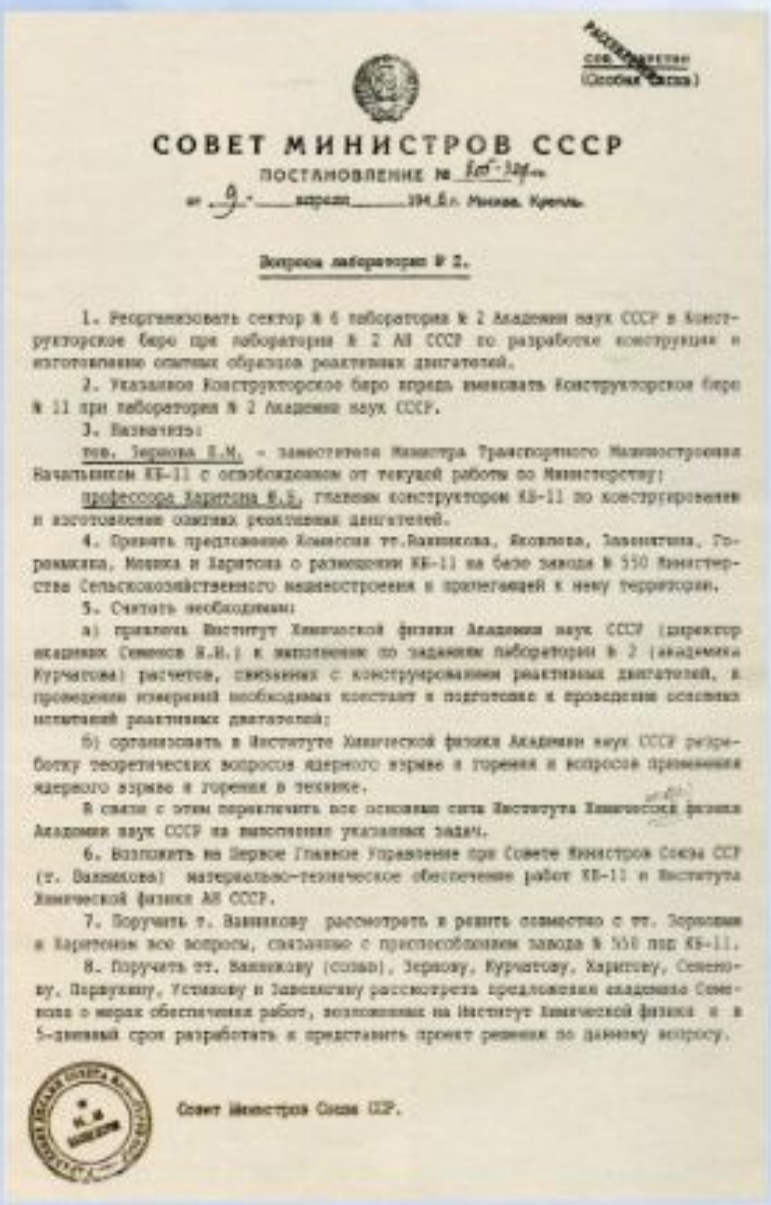
Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Главный редактор Р. И. Илькаев

Редколлегия: Ю. А. Трутнев, В. П. Незнамов, А. Н. Сизов,
И. А. Андрюшин, С. Г. Гаранин, Я. Н. Гирин, В. Ф. Деркач,
А. Д. Ковтун, Г. В. Комаров, Е. В. Куличкова, А. Л. Михайлов,
В. Б. Платонов, Б. В. Певницкий, В. Т. Пунин, В. А. Разуваев,
И. Д. Софронов, А. И. Фадеев, Ю. И. Файков, Н. Б. Хорошко,
А. В. Чувиковский, П. Ф. Шульженко, Ю. М. Якимов, Е. Д. Яковлев

Фотографии из архива музея РФЯЦ-ВНИИЭФ.

ISBN 5-9515-0062-1
© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2006



СОВ. СЕКРЕТНО
(Особая папка)

СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

ПОСТАНОВЛЕНИЕ № 805-327сс

от 9 апреля 1946 г. Москва, Кремль

Вопросы лаборатории № 2.

1. Реорганизовать сектор № 6 лаборатории № 2 Академии наук СССР в Конструкторское бюро при лаборатории № 2 АН СССР по разработке конструкции и изготовлению опытных образцов реактивных двигателей.

2. Указанное Конструкторское бюро впредь именовать Конструкторское бюро № 11 при лаборатории № 2 Академии наук СССР.

3. Назначить:

тов. Зернова П.М. - заместителя Министра Транспортного Машиностроения Начальником КБ-11 с освобождением от текущей работы по Министерству;

профессора Харитона Ю.Б. главным конструктором КБ-11 по конструированию и изготовлению опытных реактивных двигателей.

4. Принять предложение Комиссии тт.Ванникова, Яковлева, Завенягина, Горемыкина, Минина и Харитона о размещении КБ-11 на базе завода № 550 Министерства Сельскохозяйственного машиностроения и прилегающей к нему территории.

5. Считать необходимым:

а) привлечь Институт Химической физики Академии наук СССР (директор академик Семенов Н.Н.) к выполнению по заданиям лаборатории № 2 (академика Курчатова) расчетов, связанных с конструированием реактивных двигателей, в проведении измерений необходимых констант и подготовке и проведении основных испытаний реактивных двигателей;

б) организовать в Институте Химической физики Академии наук СССР разработку теоретических вопросов ядерного взрыва и горения и вопросов применения ядерного взрыва и горения в технике.

В связи с этим перебросить все основные силы Института Химической физики Академии наук СССР на выполнение указанных задач.

6. Возложить на Первое Главное Управление при Совете Министров Союза ССР (т. Ванникова) материально-техническое обеспечение работ КБ-11 и Института Химической физики АН СССР.

7. Поручить т. Ванникову рассмотреть и решить совместно с тт. Зерновым и Харитоном все вопросы, связанные с приспособлением завода № 550 под КБ-11.

8. Поручить тт. Ванникову (созыв), Зернову, Курчатову, Харитону, Семенову, Первухину, Устинову и Завенягину рассмотреть предложения академика Семенова о мерах обеспечения работ, возложенных на Институт Химической физики и в 5-дневный срок разработать и представить проект решения по данному вопросу.

Совет Министров Союза ССР.

Для выполнения теоретических и газодинамических исследований, связанных с проведением взрывов больших масс химического ВВ, был необходим самостоятельный научно-исследовательский и конструкторский центр с мощной производственной базой. В связи с этим для ускорения разработки зарядов и обеспечения секретности работ Постановлением Совета министров СССР № 805-327сс от 9 апреля 1946 года было принято решение об организации при Лаборатории № 2 АН СССР Конструкторского бюро (КБ-11) по разработке конструкции и изготовлению опытных атомных бомб. Начальником был назначен П. М. Зернов, главным конструктором — Ю. Б. Харитон (в дальнейшем — научный руководитель КБ-11). Постановлением принято предложение Комиссии о размещении КБ-11 на базе завода № 550 Министерства сельскохозяйственного машиностроения и прилегающей к нему территории (пос. Сарова Мордовской АССР). Так был создан первый ядерный оружейный центр страны — ВНИИ экспериментальной физики.

Илькаев Радий Иванович,
директор и первый заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, академик РАН, трижды лауреат Государственной премии в области науки и техники, заслуженный деятель науки РФ. Награжден орденами Почета, «За заслуги перед Отечеством» III степени, отмечен благодарностями Президента РФ

С момента основания РФЯЦ-ВНИИЭФ, 9 апреля 1946 года, прошло 60 лет. Наш институт (тогда КБ-11) был создан для разработки атомных бомб как специальное подразделение знаменитой курчатовской Лаборатории № 2. Первыми его руководителями стали П. М. Зернов (директор), выдающийся организатор военной промышленности в годы Великой Отечественной войны, и Ю. Б. Харитон (главный конструктор) — крупнейший советский специалист «атомного проекта», ближайший соратник И. В. Курчатова. Сочетание высокопрофессиональной организаторской работы, глубокого научного анализа и оригинальных технологических решений являлось основой успехов нашего института в реализации многих крупных проектов. Свободный научно-технологический поиск, нацеленность на результат и четкая организация практического выполнения работы — это краеугольные камни, характеризующие стиль работы РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Создавалось КБ-11 в Сарове практически «с нуля», но уже в начале 50-х годов стало уникальным комплексом — наукоградом для развития ядерных оружейных технологий, где работали многие выдающиеся ученые, составляющие гордость нашей науки: Ю. Б. Харитон, А. Д. Сахаров, Я. Б. Зельдович, И. Е. Тамм, Н. Н. Боголюбов, Е. А. Негин, С. Г. Кочарянц, А. И. Павловский, С. Б. Кормер, Ю. Н. Бабаев, Д. А. Фишман и многие, многие другие замечательные ученые, конструкторы, инженеры. В настоящее время из этой славной плеяды в институте продолжают плодотворно работать

Визит В.В. Путина в РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2003 г.

Ю. А. Трутнев и И. Д. Софронов, одни из выдающихся создателей советского термоядерного оружия. В Сарове почти десять лет работал К. И. Щелкин, который был «alter ego» Ю. Б. Харитона с самого начала работы нашего института, возглавивший в 1955 году второй ядерный центр СССР. Много сделал для сохранения и развития РФЯЦ-ВНИИЭФ академик РАН В. Н. Михайлов, преемник Ю. Б. Харитона на посту научного руководителя института, возглавивший атомную отрасль России в критические 90-е годы.

Концентрация уникальных научно-технологических ресурсов в КБ-11 привела к выдающимся результатам — решению сложнейших задач по созданию и развитию ядерного оружия и решению термоядерной проблемы. Это были крупнейшие достижения в области высоких технологий. Часто эти работы были сопряжены с высокой степенью риска. Поведение вещества в области высоких плотностей энергии, когда процессы происходят за десятые и сотые доли микросекунды, давления достигают миллиардов атмосфер, температуры — сотен миллионов градусов, было «тайной за семью печатями», к которой человек никогда ранее не прикасался. В этих условиях создавалась новая наука, которая существенно расширяла наши представления о природе столь необычной реальности и позволяла выработать способы управления ее процессами. Именно такой подход позволил решить практические задачи огромной государственной важности, от которых в немалой степени зависело само существование нашего государства. Делалось все очень быстро: от появления новой идеи до ее практического воплощения проходил, как правило, год-другой, и уже через несколько лет серийными заводами производились ядерные и термоядерные боеприпасы, обладавшие новыми качествами. Это была исключительно яркая история инновационного развития высоких технологий.

В начале XXI века возрождение России связывается с тем же самым определяющим фактором научного прогресса — инновациями высоких технологий. Конечно, теперь речь идет о других технологиях, хотя ядерная составляющая также присутствует.

Таким образом, первоначально цель организации КБ-11 определялась решением хотя и очень важной, но отдельной задачи — созданием атомной бомбы, но очень скоро институт приобрел черты многопрофильного научно-технологического центра мирового уровня. Мы успешно конкурировали с заокеанскими ядерными центрами. Между испытаниями первых атомных бомб в США и СССР лежит промежуток времени чуть больше четырех лет, при этом по своему физическому облику первая советская атомная бомба РДС-1 была подобна первой атомной бомбе США, испытанной в Аламогордо. Однако срок между испытаниями первых «настоящих» термоядерных зарядов в США и СССР сократился уже до полутора лет, причем термоядерный заряд РДС-37, созданный в КБ-11 в 1955 году, принципиально отличался от первых американских термоядерных зарядов. Это была более рискованная, но и более перспективная система.

Исследования и деловая «хватка», выработанная у нас при решении оружейных проблем, позволили энергично развивать лабораторно-экспериментальную, вычислительную и производственную базу нашего института. В составе РФЯЦ-ВНИИЭФ появились крупнейшие научно-исследовательские комплексы, не связанные непосредственно с ядерной оружейной проблематикой. К наиболее ярким примерам таких направлений деятельности относятся лазерно-физические исследования, развитие ускорительных и реакторных технологий, физика взрывомагнитных систем и ряд других направлений, в которых, как и в ядерно-оружейной области, были получены выдающиеся научные и практические результаты.

К лучшим традициям ядерного центра в Сарове относится научная смелость в решении самых разных научно-технологических задач. Здесь были созданы физико-математические модели для описания поведения материи в области высоких плотностей энергии, реализуемой в ядерных и термоядерных взрывах. Справедливость этих моделей, в основе которых лежат ясные физические идеи, была удивительным образом подтверждена в сотнях натурных экспериментов, испытаниях конкретных ядерных оружейных устройств. Уже в начале нашего пути стало ясно, что для получения конкретных результатов на основе таких моделей требуются новые методы приближенных вычислений с очень высокой точностью и специальная вычислительная техника. Наша деятельность явилась мощным стимулом для развития вычислительной математики и создания ЭВМ и одновременно была и является их крупнейшим потребителем. Это был новый прорыв по объединению возможностей физики, математики и электроники для решения сложнейших задач по управлению высокоэнергетическими потоками плотной и разреженной плазмы, излучения и нейтронов.

Как известно, потребности ядерной оружейной программы в специальных делящихся материалах привели к развитию реакторных технологий и созданию мощного научно-промышленного комплекса — ядерной энергетики. В качестве энергетики будущего часто рассматривается термоядерная энергетика, связанная с получением энергии в реакциях синтеза ядер дейтерия или дейтерия и трития. Для того чтобы эти реакции протекали в существенном количестве, необходимы температуры в десятки и сотни миллионов градусов. Такие температуры реализуются в «горящей» ядерной среде, и эта особенность была использована в различных видах термоядерного оружия. Вместе с тем уже в середине 50-х годов была осознана важность решения задачи по осуществлению термоядерного горения в устройстве, не содержащем делящихся материалов, то есть речь шла о «прорыве» в область взрывной термоядерной энергетики. Для доказательства такой возможности требовалось зафиксировать режим термоядерного горения в среде, нагретой в процессе ее сильного сжатия. В этих целях были использованы средства радиационной имплозии, и в 1962 году в РФЯЦ-ВНИИЭФ эта грандиозная задача была успешно решена. Термоядерное горючее «зажглось и горело» в специальном модуле, не содержащем делящихся материалов и пространственно отделенном от ядерного взрывного источника. В настоящее время подобные работы относятся к сфере инерционного термоядерного синтеза, в котором источником энергии являются мощные лазерные установки.

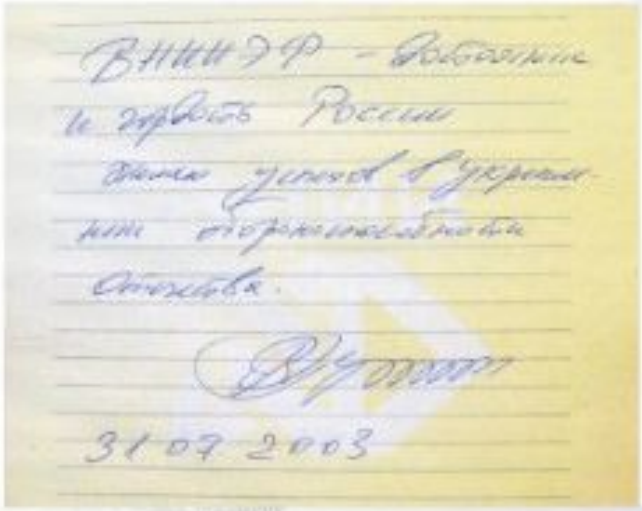
Одной из важнейших задач в совершенствовании ядерного оружия является обеспечение его высокой надежности. Со временем на смену гигантским атомным бомбам первого поколения пришли «миниатюрные» ядерные заряды. Процесс «миниатюризации» (уменьшение массогабаритных параметров) был тесно связан с совершенствованием средств доставки ядерного оружия и решением новых военно-технических задач. Известны изощренные схемы ЯЗ, в которых незначительные отклонения параметров изделия от расчетных могут привести к их отказу. Поэтому обеспечение высокой надежности ЯЗ в условиях их «миниатюризации» было сложнейшей задачей, над которой постоянно работали специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ. Трудности в ее выполнении были связаны также с ограниченным количеством натурных испытаний, выделяемых для отработки отдельных конкретных ЯЗ, и с ограниченным объемом информации от средств диагностики в ядерных испытаниях.

Потребовались колоссальные усилия для того, чтобы «проградуировать» надежность ЯЗ и ЯБП и обеспечить поступление в ядерный арсенал только высококондиционного оружия.

Прошло уже 15 лет с того момента, как мы провели последнее ядерное испытание. Сейчас мы энергично работаем над научно-техническим сопровождением ядерного арсенала нашей страны — обеспечением его эффективности, надежности и безопасности. В условиях неизбежной со временем эрозии технологий и старения материалов при отсутствии натурных испытаний эта задача исключительно сложна, и в основе ее выполнения лежит высокий уровень надежности созданных нами ядерных зарядов. В свое время мы не пошли на компромисс и не пожертвовали необходимыми параметрами надежности для получения мелких выигрышей в эффективности, хотя нам тогда многие говорили: «В чем проблемы? Вы всегда можете испытать ваши заряды, если возникнут какие-либо вопросы». Теперь, много лет спустя, в условиях ДВЗЯИ, жизнь подтвердила правильность нашего выбора.

Я подробно остановился на некоторых научно-технических аспектах работы РФЯЦ-ВНИИЭФ по ядерно-оружейной проблематике, поскольку создание ЯЗ и ЯБП является основной деятельностью нашего института, и поскольку роль науки в этом процессе исключительно важна. В этой книге вы найдете страницы, посвященные самым разным видам деятельности РФЯЦ-ВНИИЭФ на протяжении всей его славной истории. В то же время в одной книге невозможно представить деятельность института в полном объеме и дать подробное описание ее основных элементов. Важнейшая часть наиболее интересного в нашей работе скрыта к тому же за грифом секретности, что совершенно необходимо в этих вопросах. Тем не менее эта книга окажется достаточно интересной для широкого круга читателей, дав возможность познакомиться с некоторыми страницами научно-технической деятельности, сделавшей нашу страну одним из лидеров мировой цивилизации в XX веке и позволяющей нам с определенным оптимизмом смотреть в будущее.

В ведущем научно-техническом центре мирового уровня, а РФЯЦ-ВНИИЭФ, безусловно, является таковым, важно сочетание многих факторов: масштабности задач, крупных ресурсов, современной технической базы, эффективной организации и т.д., однако главным нашим «капиталом» всегда были и будут люди, талантливые ученые, конструкторы, инженеры, производственники, творчески работающие для обеспечения безопасности и могущества нашей страны. Эта книга, в первую очередь, посвящается вам, мои дорогие товарищи, чья деятельность является ярким воплощением научно-технического прогресса.



Во время визита в РФЯЦ-ВНИИЭФ Президент РФ В. В. Путин посетил музей института и оставил запись в книге отзывов

Начало атомной эры

Э. Резерфорд, Ф. Штрассман, И. Кюри и Ф. Жолио

Э. Ферми, О. Ган и Л. Мейтнер

Двадцатый век справедливо называют атомной эрой. За очень короткий по историческим меркам срок человек сумел раскрыть множество тайн атомного ядра. Достижения первой трети XX века, связанные с именами Беккереля, Рентгена, супругов Кюри, Томсона и Резерфорда, Бора и Эйнштейна, легли в основу современной ядерной физики и определили не только научные успехи двадцатого столетия, но и ход мировой истории. После открытия Чедвиком нейтрона – долгожданного «нулевого элемента» – и разработки основ квантовой механики оставалось в буквальном смысле два шага до получения цепной реакции.

В 1934 году в Париже открыта искусственная радиоактивность. Это, используя быстрые альфа-частицы, сделали супруги Фредерик и Ирен Жолио-Кюри. Практически одновременно с ними то же явление, но при облучении ядер нейтронами, получил в Риме Энрико Ферми.

Декабрь 1938-го. Немецкие ученые Отто Ган, Лиза Мейтнер и Фриц Штрассман экспериментально обнаружили и теоретически объяснили явление деления ядра урана.

Январь 1939-го. Ган и Штрассман опубликовали статью по итогам этих исследований. Без всякого преувеличения можно сказать, что она ознаменовала собой переход ядерного Рубикона.

Во многих лабораториях мира были воспроизведены опыты немецких ученых. И сразу стало ясно – распад атомного ядра приводит к выделению огромного, невиданного прежде количества энергии. Как ею распорядиться – такой вопрос стоял теперь не только перед учеными, но и перед политиками, быстро оценивавшими достижения ученых по своим меркам. Итог его решения известен. Хотя основоположники ядерной физики работали, без всяких сомнений, для мирного развития всего человечества, их благих намерений оказалось недостаточно. Атомную энергию человек впервые применил в военных целях.

Н. Бор

О. Фриш

Д. Чэдвик

Разработка атомного оружия начиналась в Германии. Немецкие физики в предвоенные и военные годы достигли значительных результатов в теории создания «сверхбомбы». Но в Германии в то время еще не было делящихся материалов, а дальнейшее развитие событий не позволило создать их производство. Многие ученые Европы (в том числе и Германии), занимавшиеся физикой атомного ядра, в 30-х годах покинули свои страны, переселившись сначала в Англию, затем в Канаду и США. После начала войны в Европе Великобритания добровольно передала Соединенным Штатам все материалы, полученные в ходе работ по английскому ядерному проекту, и направила для работы в Лос-Аламос крупнейших физиков-ядерщиков.

В США для решения атомной проблемы были сосредоточены огромные ресурсы. Объединение усилий, вложение колоссальных средств, напряженная работа выдающихся специалистов принесли свои результаты. Первый в мире атомный заряд был успешно испытан 16 июля 1945 года в пустыне Аламогордо (штат Нью-Мехико). Затем последовала атомная бомбардировка Японии. Всего через шесть лет после открытия ядерной реакции, в конце 1945-го, президент США Трумэн заявил: «Хотим мы этого или не хотим, мы обязаны признать, что одержанная нами победа возложила на американский народ бремя ответственности за дальнейшее руководство миром...» В это же время премьер-министр Великобритании Эттли, говоря об итогах атомных бомбардировок Японии, предложил политикам учесть, «каковы будут последствия безграничного продолжительного применения этого ужасного оружия, которым располагает ныне человек для навязывания своих законов всему миру...»

Это был ядерный вызов.

Л. Сциллард

Дж. Р. Оппенгеймер

С. Неддермейер

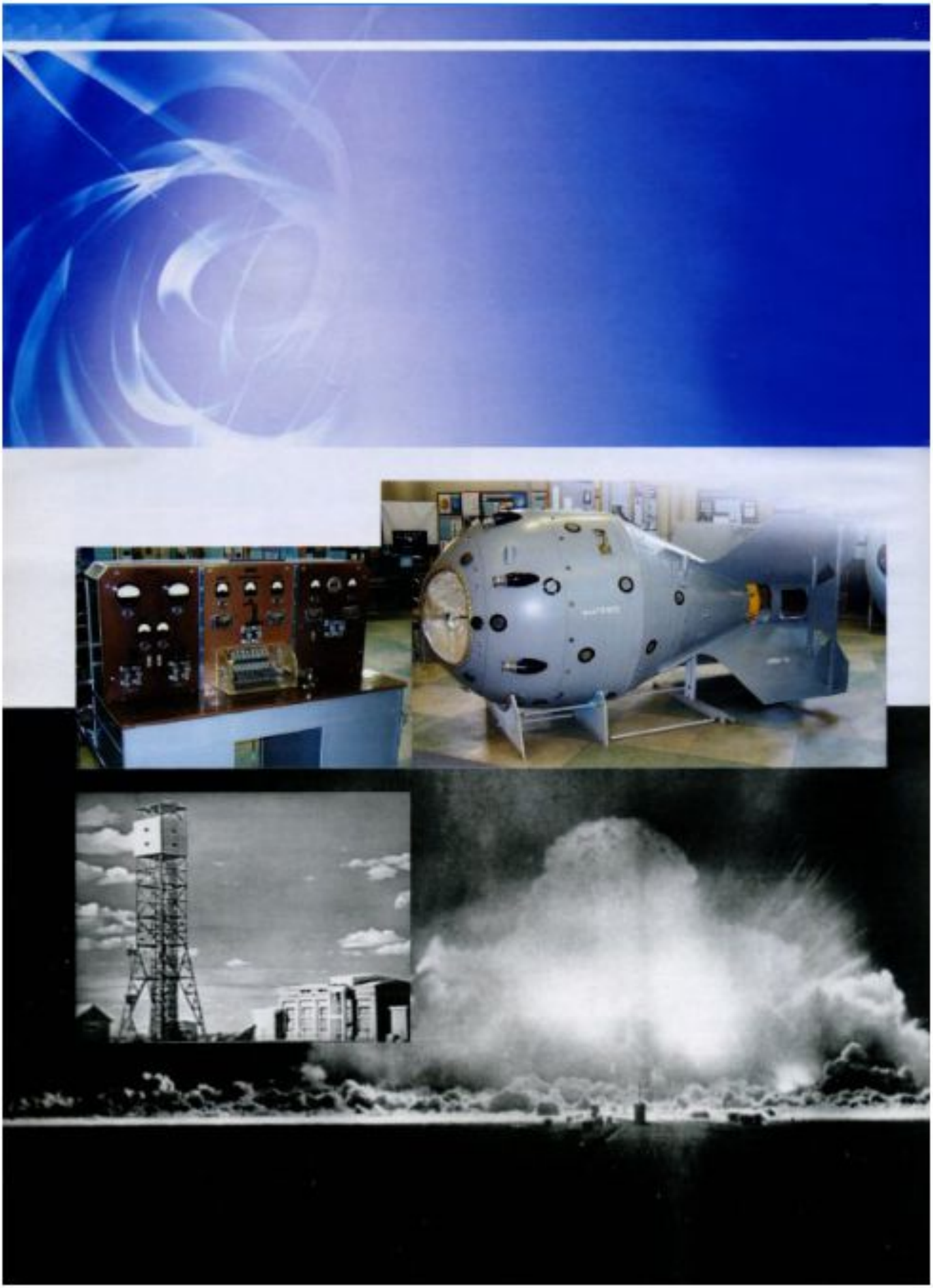
Дж. фон Нейман

Х. Бете

Дж. Кистяковский

Э. Джетт

А. Валь



Рождение «объекта». Создание РДС-1

Спустя 11 дней после бомбардировки Нагасаки, 20 августа, было принято постановление Государственного комитета обороны Советского Союза о создании Первого главного управления (ПГУ) при Совете народных комиссаров СССР. Этим же документом создавался Специальный комитет при Государственном комитете обороны СССР. Спецкомитет и ПГУ были органами, управляющими ходом и развитием работ по урану и отвечающими за них перед правительством страны.

Первое главное управление возглавил Б. Л. Ванников, во время Отечественной войны 1941–1945 годов занимавший пост наркома боеприпасов. Научным руководителем проекта стал И. В. Курчатов. Председателем Спецкомитета был назначен Л. П. Берия. Все работы по проекту контролировал лично И. В. Сталин. Такое внимание к атомной проблеме лишь подчеркивало тот факт, что СССР предстояло решить труднейшую задачу в труднейших условиях.

И. В. Курчатов и Б. Л. Ванников в Кремле

Позже, оценивая начальный период в создании отечественного ядерного оружия, И. В. Курчатов писал: «Мы были одни. Наши союзники в борьбе с фашизмом – американцы и англичане, которые были впереди нас в научно-технических вопросах использования атомной энергии, – вели свои работы в строго секретных условиях и ничем нам не помогали». Такая обстановка изоляции от мирового потока научной и технической мысли привела к единственно возможному для нас пути в решении своей атомной проблемы. Это было введение необъявленного чрезвычайного положения по всей стране. Конечно, прежде всего в промышленности.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ОБОРОНЫ СССР
ПОСТАНОВЛЕНИЕ N 9887

от 20 августа 1945 г.
Москва, Кремль

Государственный Комитет Обороны постановляет:

... 4. Для непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями по использованию внутриатомной энергии урана и производству атомных бомб организовать при СНК СССР Главное Управление – "Первое Главное Управление при СНК СССР", подчинив его Специальному Комитету при ГОКО.

Председатель Государственного Комитета Обороны И. Сталин

И.Сталин

С научно-исследовательской базой дела для нас обстояли более благоприятно. Советский атомный проект начинался хотя и в очень тяжелых условиях послевоенной разрухи, но никак не с нуля. К этому времени советская ядерная физика имела в своем активе несомненные достижения. Уже в 1921 году в стране проводились исследования в области радиоактивности. В ноябре этого года были образованы три института: рентгенологический и радиологический под руководством профессора М. И. Неменова; ставший вскоре знаменитым Ленинградский физико-технический (рентгенологический), во главе с А. Ф. Иоффе; и Радиевый институт, возглавляемый В. И. Вернадским.

На собрании, посвященном открытию новых научных учреждений, Владимир Иванович Вернадский сказал: «Мы подходим к великому перевороту в жизни человечества, с которым не может сравниться все им раньше пережитое. Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться в ближайшие годы, может случиться через столетие. Но ясно, что это должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направив ее на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать ту силу, которую неизбежно должна дать ему наука? Ученые не должны закрывать глаза на возможные последствия научной работы, научного прогресса. Они должны себя чувствовать ответственными за последствия их открытий. Они должны связать свою работу с лучшей организацией всего человечества».

Российские ученые после революции верили в возможность этой лучшей организации. И они с энтузиазмом трудились над решением мировых научных проблем. Их труд был самоотверженным и успешным. Еще 1 декабря 1921 года В. Г. Хлопин и М. А. Пасвик получили первый препарат радия из руд тюямуюнских месторождений в Туркестане. А в 1927 году были обнаружены новые месторождения урана тоже в Средней Азии. В стране создавались новые институты физического профиля, которые сразу подключались к решению вопросов ядерной физики. Институт химической физики открылся в 1931 году в Ленинграде, его возглавил Н. Н. Семенов, будущий академик и Нобелевский лауреат. Еще раньше, в 1928-м, начали работу Сибирский физико-технический в Томске, Уральский институт физики металлов в Свердловске и Украинский физико-технический институт в Харькове. Его сотрудники в 1931 году успешно повторили эксперимент Дж. Кокрофта и Э. Уолстона по трансмутации ядер лития.

Под руководством академика А. Ф. Иоффе, директора Физико-технического института в Ленинграде (ЛФТИ), успешно работали группы талантливых молодых ученых, исследовали модели ядра, выдвигали гипотезы его строения и поведения элементарных частиц, разрабатывали теории сложных явлений, в том числе и цепных ядерных реакций, проводили уникальные эксперименты. Занимались даже внеземной, космической тематикой.

Работы выдающихся советских ученых: Мандельштама, Леонтовича, Курчатова, Френкеля, Черенкова и Вавилова, Тамма и Франка, многих других – убедительно показывали: по уровню исследований в теоретической ядерной физике СССР не отстает от европейских стран, лидеров довоенного научного мира. По многим направлениям мы даже опережали их. Да и на практике отставание было очень незначительным. За рубежом тяжелую воду впервые получили в 1933-м, в СССР – на год позже. В 1939-м были сделаны первые шаги по ее промышленному производству. А циклотрон, запущенный в ленинградском Радиевом институте в 1937-м, оказался первым в Европе.

Начиная с 1933 года регулярно проводились всесоюзные конференции по ядерной физике, на них приглашались и зарубежные специалисты. Активные дискуссии, совместные обсуждения результатов научного поиска и его направлений позволяли советским ученым реально оценивать состояние исследований в других странах. Уже в 1940-м нашим ученым стало ясно: в Англии, Соединенных Штатах и Германии лихорадочно ведутся работы по проблеме внутриатомной энергии, и на них выделяются крупные средства. Академики Вернадский, Ферсман, Хлопин полагали, что «уже сейчас назрело время, чтобы

правительство, учитывая важность вопроса о техническом использовании внутриатомной энергии, приняло ряд мер, которые обеспечили бы Советскому Союзу возможность не отстать в разработке от зарубежных стран».

Молодые физики тоже готовы были активно включиться в работу по урановому проекту. В своей записке от 24.08.1940 года академик А. Ф. Иоффе писал, что лучшими специалистами в этой области исследований являются И. В. Курчатов, Г. Н. Флеров, К. А. Петржак, Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон. Его слова подтверждались результатами, которые в 1940 году опубликовали эти ученые. Это открытие Петржаком и Флеровым (под руководством Курчатова) спонтанного деления урана и работа Зельдовича и Харитона «Кинетика цепного распада урана», в которой было дано описание условий, необходимых для осуществления ядерного взрыва. 29 августа 1940 года Вернадский, Ферсман и Хлопин предложили Президиуму Академии наук СССР развернутую программу исследований по урану. Через месяц, согласно утвержденной программе, начались целенаправленные поиски урановых месторождений.

22 июня 1941 года эти планы были надолго отложены.

Все силы страна отдавала на борьбу с захватчиками, все средства шли в помощь армии и военной промышленности. Как и весь советский народ, ученые работали под лозунгом «Все для фронта, все для Победы!»

Но в самый тяжелый год Великой Отечественной войны – 1942-й – Сталин подписывает распоряжение Государственного комитета обороны об организации работ по урану. Такое решение было принято после получения важной информации о работах в области ядерной физики за рубежом. В начале марта 1942 года Л. П. Берия направил Сталину подробную справку по данным внешней разведки о работах по урану, ведущихся в Германии, Франции, Англии и США в условиях строгой секретности. Поступали в правительство и другие документы, говорившие о важности новой проблемы. 28 сентября 1942 года И. В. Сталин подписал распоряжение ГКО «Об организации работ по урану». Этим распоряжением руководству ЛФТИ, находящемуся в то время в эвакуации в Казани, поручалось возобновить исследования по урану. Одновременно начались работы по геологоразведке, добыче и переработке урановых руд. В феврале 1943 года была создана Лаборатория № 2 Академии наук СССР. Ее задача формулировалась так: изучить возможности применения атомной энергии в военных целях. Руководителем лаборатории стал И. В. Курчатов.

В течение 1943-го, 1944-го и первой половины 1945-го исследователи и специалисты различных учреждений страны активно работали по многим направлениям уранового проекта. Но, конечно, отставание от Соединенных Штатов Америки, ставших в этот период лидером в области ядерных вооружений, было колоссальным. Наши потери были огромны, в годы войны погибло более 30 миллионов человек. Полстраны лежало в руинах. Война такой страшный урон причинила всем областям экономики и науки нашей страны, что, казалось, урановый проект отложен в СССР на десятилетия. Но события августа 1945-го показали, что Советскому Союзу ядерная бомба не просто необходима, она была нужна как можно скорее.

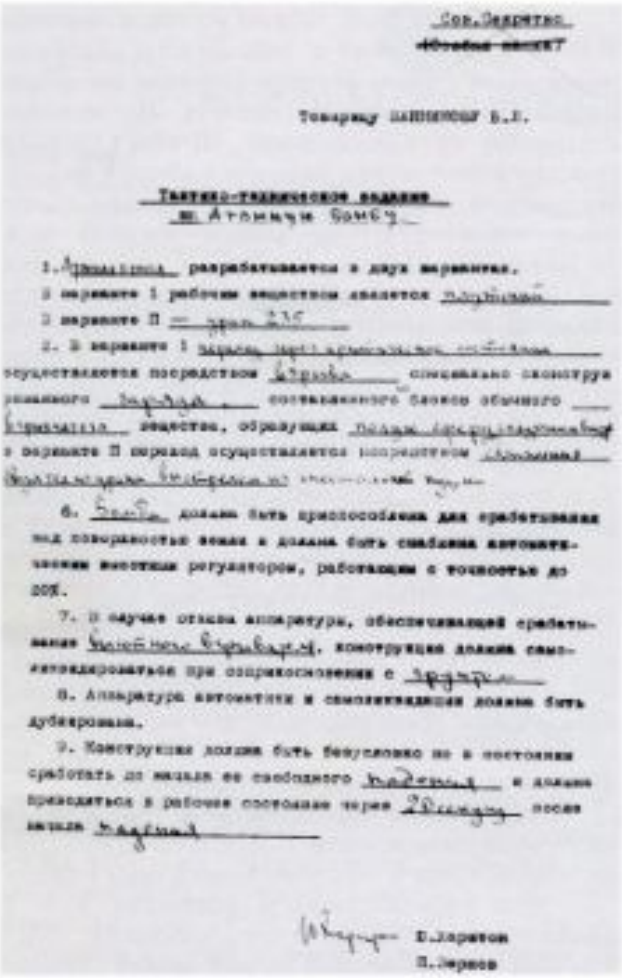
Сделать бомбу

Создание атомного оружия – это задача прежде всего для развитой, высокотехнологичной промышленности, от горнодобывающей до электронной, для огромной цепи предприятий, оснащенных сложнейшим оборудованием, для многотысячных коллективов научных сотрудников, рабочих, инженеров высочайшей квалификации.

Американские специалисты в 1948 году так оценивали возможности Советского Союза: объем производства в высокотехнологичных отраслях советской промышленности составлял 18 % от аналогичных объемов промышленности США, что означало временной разрыв между странами в 22 года. То есть зарубежные эксперты считали, что при самых благоприятных обстоятельствах Советский Союз мог бы произвести свою первую атомную бомбу не ранее 1954 года.

В стране, разрушенной и истощенной, работы по созданию отечественной атомной бомбы казались делом нереальным. А они начались. Начались в огромных масштабах, в жестких временных рамках, под строгим контролем первых руководителей страны. Конечно, возведение промышленных предприятий и новых городов, постройка ядерных реакторов требовали значительного времени. Но теоретические наработки, подкрепленные данными разведки, позволяли быстро развернуть необходимые научные исследования и проводить нужные эксперименты. Они в 1945–1946 годах проходили в Москве, в Лаборатории № 2, во многих учреждениях и на различных предприятиях страны.

Первая программа создания атомной бомбы вышла из недр Лаборатории № 2, активно работавшей под руководством И. В. Курчатова. Именно он предложил, чтобы научным руководителем работ



Сов.Секретно

Товарищу Берии Л.П.

Тактико-техническое задание на Атомную бомбу

1. разрабатываются в двух вариантах.
В варианте I рабочим веществом является
В варианте II —
2. В варианте I осуществляется посредством специально сконструированного состоящего более обычного вещества, образующих
В варианте II взрыв осуществляется посредством

6. должна быть приспособлена для срабатывания над поверхностью земли и должна быть снабжена автоматическим высотным регулятором, работающим с точностью до 20%.

7. В случае отказа аппаратуры, обеспечивающей срабатывание конструкция должна самоликвидироваться при соприкосновении с

8. Аппаратура автоматики и самоликвидации должна быть дублирована.

9. Конструкция должна быть безусловно не в состоянии сработать до начала ее свободного и должна приходиться в рабочее состояние через после начала

Ю.Харитон
П.Зернов

Тактико-техническое задание на РДС-1

по атомной урановой бомбе стал Ю. Б. Харитон. И это предложение, как и вся программа, 15 мая 1945 года было принято руководством страны. Программа включала общую характеристику объемов и содержания научно-исследовательских работ. Были предусмотрены разработки в области ядерной физики, геологии, металлургии урана, технологии разделения изотопов и получения плутония. Фронт исследований быстро расширялся, задания различным ведомствам и предприятиям множились. И вскоре стало ясно, что объем необходимых работ оказался гораздо больше, чем предполагалось вначале, в том числе и опасных (для создания атомного заряда требовалось проведение множества опытов с обычной взрывчаткой). Кроме того, требования секретности в столице соблюдались недостаточно строго. Нужно было создавать подальше от Москвы, в малонаселенном, укрытом от посторонних глаз районе страны новый научно-производственный центр. К этому решению приходили все, имевшие отношение к атомному проекту СССР. Вот что писал академик С. А. Векшинский 15 декабря 1945 года Г. М. Маленкову, заместителю Председателя правительства страны: «Должна быть создана такая организация, где были бы слиты в один коллектив и мастера, и физики, и инженеры. Только их общий опыт может потом оплодотворить наши заводы, позволит, не теряя времени, создать промышленное производство. ...Как временную меру приходится принять организацию исследовательских работ в разных местах, но нужно немедля приступить к созданию и оборудованию такого научно-технического центра, где через 8–10 месяцев можно было бы уже вести работу по-настоящему. Предложение академика Курчатова о срочной постройке института с сильным техническим уклоном, по-моему, является не только обоснованным, но и категорически необходимым. Без этого ничего не выйдет».

«Объект» получает прописку

На заседании Спецкомитета 14 декабря 1945 года был рассмотрен вопрос «Об организации Конструкторского бюро № 5» (первоначальное название КБ-11) и записано поручение комиссии в составе Ванникова Б. Л., Яковлева Н. Д., Завенягина А. П., Горемыкина П. Н., Харитона Ю. Б. и Мешика П. Я. в 10-дневный срок представить в Спецкомитет предложение о месте для КБ-5.

Видимо, его определили Ванников и Горемыкин: в подчинении руководимого ими ведомства в годы войны находился завод № 550 (поселок Сарова, Мордовской АССР). Второго января 1946 года в поселок прибыли нарком сельхозмашиностроения П. Н. Горемыкин (во время войны заместитель наркома боеприпасов) и заместитель начальника ПГУ по кадрам, секретности и охране генерал-лейтенант П. Я. Мешик. Они осмотрели завод и поселок, Мешик сделал много фотографий, для высоких гостей подготовили справку о предприятии. К вечеру они уехали в Москву, так и не поставив руководителей завода в известность о цели визита.

Уже 25 января 1946 года во время встречи В. М. Молотова, Л. П. Берия и И. В. Курчатова с И. В. Сталиным ему было доложено: «Учитывая особую секретность работ, решено организовать для конструирования атомной бомбы специальное конструкторское бюро с необходимыми лабораториями и экспериментальными мастерскими в удаленном, изолированном месте. Для размещения этого бюро намечен бывший завод производства боеприпасов (№ 550) в Мордовской АССР в бывшем

Саровском монастыре (в 75 км от ж.-д. станции Шатки, юго-восточнее Арзамаса), окруженном лесными заповедниками, что позволит организовать надежную изоляцию работ».

16 марта 1946 года Спецкомитет принимает решение о создании Конструкторского бюро № 11 по разработке конструкции и изготовлению атомной бомбы при Лаборатории № 2 АН СССР на базе завода № 550 Наркомсельхозмаша и прилегающей к нему территории. Этим же постановлением Спецкомитета П. М. Зернов, бывший заместитель наркома транспортного машиностроения, назначается начальником КБ-11, а профессор Ю. Б. Харитон – главным конструктором КБ-11.

П. М. Зернов

Ю. Б. Харитон

Несмотря на столь быстрые и решительные действия по организации КБ-11 в далекой глуши, у руководства атомным проектом оставались сомнения в целесообразности такого поворота дел. Прежде всего потому, что организация «объекта» так далеко от развитых промышленных центров, в маленьком бедном поселке требовала огромных сил и средств. Поэтому Б. Л. Ванников откомандировал в Саров П. М. Зернова и Ю. Б. Харитона с тем, чтобы они ознакомились с обстановкой на месте и тогда уже приняли окончательное решение. Вместе с будущими начальниками КБ-11 отправился И. И. Никитин, представитель Ленинградского проектного института (ГСПИ-11). Эта организация с самого начала атомного проекта участвовала в возведении новых закрытых городов и предприятий.

Группа высоких лиц в апреле 1946 года сначала посетила Первомайск, где ознакомилась с работой Ташинского вагоноремонтного завода, и лишь затем прибыла в Саров по узкоколейной дороге на дрезине. Так же внимательно, как и предыдущая комиссия, гости осмотрели поселок и завод, поговорили с людьми. Пробыли в Сарове два дня. Прощаясь, сказали руководителям завода № 550 фразу, пока непонятную для них: «Ну, вот, считайте, что вы и отмучились...» (по воспоминаниям Н. А. Петрова, бывшего тогда главным инженером завода).

Ю. Б. Харитон в своих воспоминаниях об этом посещении приводит лишь такое короткое высказывание: «Это место нам понравилось, мы поняли, что оно нам подходит». Соображения в пользу Сарова были высказаны руководству.

И вот 9 апреля 1946 года принимается закрытое постановление Совета министров СССР №805-327 о создании КБ-11. В этом документе руководителями нового центра названы те же специалисты, которых предложил Спецкомитет: П. М. Зернов и Ю. Б. Харитон, – и задача перед его сотрудниками поставлена та же: разработать, изготовить и испытать первую советскую атомную бомбу. Эта дата – 9 апреля – и считается днем рождения РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Место, где должен был расположиться объект важнейшего государственного значения, также окончательно определено. Это Саров, находившийся в окружении прекрасной природы Мордовского государственного заповедника.

Природа, история, люди

Тогда немногие думали о том, насколько интересно прошлое Сарова. Самым важным делом было скорейшее выполнение заданий правительства. Но, несомненно, особое очарование заповедной

Таким увидели Саров создатели КБ-11

Вид с колокольни Саровского монастыря

зоны, превратившейся вскоре в закрытую, историческую атмосферу восприняли и оценили все, прибывавшие сюда.

Мордовский заповедник характерен разнообразием пейзажей. Лесной массив, надежно укрывавший город, по долине реки Мокши врезался далеко в степь, а на севере тянулся до самого Мурома. Сосновые боры перемежались лиственными рощами и поросшими орешником холмами, а примокшанскую пойму с ее озерцами-старицами окружал мелкий кустарник, заросли шиповника и душистое разнотравье. Самыми древними обитателями Саровской местности были мордовские племена эрзя и мокша, о которых в числе других народностей, населяющих территорию России, упоминал еще Нестор в своей Летописи.

Постройкой и освящением 16 июня 1706 года первой деревянной церкви, названной во имя Пресвятой Богородицы и Живоносного ее источника, началась история монастыря Саровская пустынь. За двести с лишним лет своего существования (1706–1927 годы) Саровская пустынь превратилась в памятник, отличавшийся неповторимой архитектурой и великолепной росписью храмов. Вот как был описан Саровский монастырь в книге «Общежительная Саровская пустынь»: «Внутри и вне монастыря в Саровской пустыни все здания каменные и красивой архитектуры. Не доезжая до Сарова, из-за леса вдруг и внезапно видишь на возвышенной горе во всей красе и величии блестящие куполы и золотые главы с крестами, горящими в воздухе. Как величественный город, тянутся поверх горы, поражая взоры, и представляют очаровательную картину, со всех сторон имеющую вид весьма превосходный, монастырские здания». Самым значительным и великолепным строением в Саровской пустыни являлся Успенский собор, построенный в 1777 году. Собор отличался такой красотой, что по его образцу в Тамбовской епархии было выстроено еще 5 храмов.

Саровский монастырь был одним из богатейших в России. Он владел 2808 десятинами (4071,5 га) сенокосных угодий и 21160 десятинами (30682 га) леса. Популярность монастыря в немалой степени связана с подвижнической деятельностью Серафима Саровского, жившего здесь в 1778–1833 годах. Он был причислен к лику святых Русской православной церковью в 1903 году. Официальная его канонизация состоялась в Саровском монастыре в том же году, в день семидесятилетия со дня смерти Серафима. На торжествах присутствовала вся императорская фамилия.

Спокойное существование Саровского монастыря закончилось с началом Первой мировой войны. Октябрь 1917-го обещал еще больше труд-

ностей. Первые послереволюционные годы все же обошли обитель стороной, но в конце 1920 года Саровский монастырь вступил в полосу проверок и ревизий. На основании решения Совета народных комиссаров и соответствующего распоряжения Комиссариата юстиции (подписано 25 августа 1920 года) в декабре 1920 года комиссией было осуществлено вскрытие мощей Серафима Саровского. 6 апреля 1922 года в Саровский монастырь прибыли представители власти для конфискации церковных ценностей. Ровно через пять лет приехавшими и местными представителями властей было осуществлено изъятие мощей Серафима Саровского и произведено опечатывание церквей. Так 5 апреля 1927 года Сатисо-Градо-Саровская пустынь (Саровский монастырь) прекратила свое существование.

Наступили новые времена. В 1928 году в строениях монастыря начала работать трудовая коммуна для бездомных и беспризорных детей, большинство из которых были настоящими уголовниками. Коммунары в 1929–1930 годах построили узкоколейную железнодорожную ветку, соединившую поселок через Берещино—Шатки со всей страной. В 1930 году трудовая коммуна перешла в ведение ОГПУ, годом позже ее реорганизовали. Был образован Саровский особый карантинный лагерь ОГПУ (сокращенно Сарлаг). Лагерь предназначался для так называемых «перебежчиков», то есть граждан других государств, по тем или иным причинам пожелавших жить в СССР. Этих людей вместе с их семьями выдерживали в лагере, пока компетентные органы проверяли их биографические данные. В лагере также находились и обычные заключенные, которые, как и перебежчики, работали. В Сарлаге действовали электростанция, два лесозавода (второй — на Протяжке), столярно-мебельная фабрика, имелось свое сельское хозяйство, в том числе пасека. Работал клуб, на Маслихе действовала «спецбольница».

В январе 1934 года карантинный лагерь стал отделением Темниковского исправительно-трудового лагеря ОГПУ (Темлага). В сентябре того же года Сарлаг был выведен из подчинения Темлагу и перешел в непосредственное подчинение Управления НКВД по Горьковскому краю. В 1935 году в Сарове вновь организуется детская трудовая колония, но Сарлаг не прекратил своего существования, эти две организации первое время уживались.

В том же году началось строительство нового механического завода, который местные жители окрестили «коньковым», так как на нем планировалось выпускать спортивные коньки и санки (это здание расположено сейчас на территории 1-го завода ВНИИЭФ). В 1937 году рядом

Подготовка к вывозу лесоматериалов. Саров. Конец 1930-х гг.

Наводнение в Сарове. Конец 1930-х гг.

Жители Сарова. 1933 г.

Воспитанники и сотрудники детской трудовой коммуны Сарова. 30-е гг.

Группа военной приемки на заводе № 550. Крайний слева в среднем ряду – И. А. Петров

Улицы Сарова в 1946 г.

с новым заводом была построена вторая электростанция, так как первая, существовавшая еще с монастырских времен и оснащенная оборудованием XIX века, уже не справлялась с возросшими потребностями производства.

В ноябре 1938 года было принято решение о ликвидации Саровской детской трудовой коммуны. Основным ее правопреемником стал Саровский машиностроительный завод, подчиненный Народному комиссариату машиностроения СССР (Наркоммашу). Акт передачи зданий заводу был подписан 19 января 1939 года. Воспитанники колонии были трудоустроены на предприятия других городов.

Как и многие предприятия в СССР, саровский завод, несмотря на вроде бы мирный профиль, должен был выпускать в основном военную продукцию. Было принято решение о производстве на нем кривошипных прессов холодной штамповки, прессов-ножниц для резки арматурного железа, но главное – фугасно-осколочных снарядов калибра 152 мм. Началось переоборудование существовавших и строительство новых цехов. Производство испытывало крайнюю нужду в квалифицированных кадрах. В Саров в спешном порядке присылались специалисты с высшим образованием из других городов, 1 сентября 1939 года открылось фабрично-заводское училище (ФЗУ, с 1 декабря 1940 года – ремесленное училище) для подготовки квалифицированных рабочих. На завод набирались в основном недавние крестьяне из близлежащих районов Горьковской области и Мордовской АССР, как правило, не имевшие никакой профессиональной подготовки и обладавшие низким образовательным уровнем. Как следствие, на заводе наблюдалась большая текучесть кадров, с большим трудом налаживалось производство.

Все же в 1939 году завод дал первую продукцию, это были прессы. С выпуском снарядов дело обстояло хуже. Но когда директором стал И. И. Свертилов (1904–1977), имевший опыт руководства выпуском снарядов в Брянске, когда на завод прибыли и другие специалисты, производство наладилось. В 1940 году военная комиссия приняла установочную партию корпусов снарядов, успешно прошедших полигонные испытания. Завод получил разрешение на массовое производство своей основной продукции.

Начало Великой Отечественной войны резко изменило жизнь и условия работы. Был образован Наркомат боеприпасов, и Саровский завод, получив номер 550, поступил в его подчинение. Прекратились отпуска, на заводе был введен 10–11-часовой рабочий день. Выходные предоставлялись лишь два раза в месяц, но иногда и их не было. В 1943 году на заводе началась подготовка к выпуску новой для

него продукции – снарядов для минометов М-8 и М-13 («катюша»). Эта сложная производственная задача была успешно решена, в Сарове освоили выпуск деталей корпусов снарядов, готовую продукцию отправляли в Горький, где на заводе «Красное Сормово» происходили окончательная сборка и снаряжение боеприпасов. За военные годы завод изготовил около 400 тысяч корпусов для снарядов «катюш», а также 660 различных прессов и 22 волочильных стана.

В сентябре 1943 года в Сарове была вновь организована детская трудовая колония (ДТК) НКВД МАССР, исправительное учреждение для несовершеннолетних, которые здесь учились и работали. Мастерские колонии выпускали молотки, ножовочные станки, столовые ножи, гаечные ключи, бондарные изделия, метизы для тракторов, кровати, плоскогубцы. В обеспечении оборонного заказа завода № 550 ДТК участия не принимала. Ликвидирована Саровская ДТК была в мае 1946 года, то есть уже после того, как было принято решение о создании КБ-11 на территориях бывшего монастыря и прилегающих к нему.

Что представлял собой поселок в это время? В начале 40-х будущий ядерный центр страны описывали так: «Саровский поселок входит в состав Темниковского района Мордовской АССР, расположен на реке Сатис при впадении в нее Саровки. Существующая узкоколейная железнодорожная ветка принадлежит заводу, регулярного движения, ни грузового, ни пассажирского, на линии нет, работает по мере надобности. Пассажирское движение осуществляется на автодрезине.

Поселок занимает постройки бывшего монастыря — Саровской пустыни. Он расположен на возвышенности при слиянии рек Сатис и Саровка. К югу, западу и востоку от Сарова раскинулись сплошные лесные массивы, к северу через 5 км они сменяются лесостепью. ...Существующая застройка поселка сконцентрирована в основном на полуострове между реками Сатис и Саровка и состоит из бывших монастырских зданий. Преимущественно застройка каменная, двухэтажная, расположена замкнутым четырехугольником. Всего зданий в поселке около 60, из них занято под жилье около 30. Остальные заняты обслуживанием или совсем не приспособлены под жилье. Под жилье в поселке занято 6700 м^2, что составляет около 3 м^2 на одного жителя. Весь домовой фонд принадлежит заводу.

В 1939 году на Саровском машиностроительном заводе работало 979 человек, кроме того, насчитывалось 400 человек сезонных строительных рабочих. Общая численность населения поселка Саров несколько превышает 2000 человек».

Такие дома строили в Сарове в конце 40-х гг. прошлого века

Саров в начале 50-х гг. прошлого века

Вид будущего пр. Мира в начале 50-х гг.

В 1946-м архитектура и жизнеобеспечение поселка изменились мало. Но проживало в нем уже около 10 тыс. человек. Наличие в Сарове лишь одного небольшого, хотя и хорошо работающего предприятия означало, что необходимы значительные усилия по созданию требуемой производственной базы. Кроме того, для размещения большого количества прибывающих специалистов нужно было построить жилье.

Строительство на «объекте»

Итак, строительные работы весной 1946-го вышли в Сарове на первый план. Чтобы выполнить их в сжатые сроки, применили обычные для того времени методы. Одним из тех, кто принимал самое непосредственное участие в создании РДС-1, был Г. В. Киреев (в 1949-м токарь 7-го разряда Опытного завода КБ-11), он вспоминал в 1999 году: «Шестого мая 1946-го прибыла первая партия заключенных. Их привезли много, высадили всех, поставили на колени. Вокруг охрана, собаки лают. Весь город сбежался – вдруг там кто родной или знакомый? Тогда ведь как было: сообщат, что убит, а люди не верят, может быть, в плену или арестован, но главное – живой. Искали везде.

А заключенные потом строить начали. Первый район, второй... Работали они очень здорово. Зачеты у них шли так: за один день – пять. И дома росли очень быстро. Уходишь на работу – фундамент, приходишь на обед – первый этаж виден». Заключенных, прибывших для строительства «объекта», в конце 1946 года насчитывалось около 10 тысяч человек.

Для организации работ КБ-11, как упоминалось выше, были использованы территория и здания бывшего Саровского монастыря. Строились также новые лабораторные корпуса, реконструировались здания монастыря. Жилой поселок постепенно превращался в город. У него были разные названия. Тогда, в первые годы своей жизни, он носил имя «Объект 550», «База-112».

Несмотря на большой объем вложенных средств и привлечение крупных людских ресурсов, сроки ввода нужных сооружений в строй вначале срывались. Это объяснялось многими причинами, но одна из них была та, что сами сроки вначале указывались практически неосуществимые. Удаленность и бедность выбранного географического пункта, который должен был стать в недалеком будущем одним из главных центров атомного проекта, а также слабость коммуникаций сильно затрудняли работу. Анализ переписки «объекта» с Центром неопровержимо свидетельствует, что строительство и функционирование КБ-11 начинались практически с нуля.

При этом правительством страны создавались особые условия материально-технического и финансового обеспечения стройки. Отменялись лимиты на горючее, разрешалось выполнять все строительно-монтажные работы без утверждения проектов и смет, КБ-11 освобождалось от необходимости регистрировать своих сотрудников в финансовых органах, оплата труда и финансирование строительства производились по фактической стоимости. Однако выделенных таким образом средств оказалось недостаточно по сравнению с масштабом предстоящих задач. Имела место и организационная неразбериха.

Между тем объем планируемых работ был очень большим. В первую очередь предстояла реконструкция завода № 550 в опытный завод. Нуждалась в обновлении электростанция, да и все энергохозяйство поселка в целом. Нужно было построить литейно-прессовый цех для работы со взрывчатыми веществами, ряд зданий для экспериментальных лабораторий, испытательные башни, казематы, склады. Для проведения взрывных работ требовалось расчистить и оборудовать большие площадки в лесу, по обе стороны дороги, прокладываемой от завода на юг. Специальных помещений для научно-исследовательских лабораторий пока не предусматривалось, ученые должны были занять двадцать комнат в главном заводском корпусе. Конструкторам, как и административным службам КБ-11, предстояло разместиться в реконструированных помещениях бывшего монастыря. Остро стоял вопрос и с возведением жилья для специалистов.

Начало научно-исследовательских работ на месте, в Сарове, по плану должно было прийтись на 1 октября 1946 года. Если вспомнить, что строители прибыли на будущую площадку только в середине мая и что проектная документация не была готова и во второй половине лета, то можно сразу понять, насколько нереальной оказалась эта дата. Осенью 1946-го стало ясно, что намеченные планы выполнены не будут.

Работа над «изделием»

Строительные работы требовали много внимания и сил от руководства «объекта». Но задача создать бомбу – основная цель для КБ-11 – ни на минуту не терялась в хозяйственных хлопотах. Уже 1 июня 1946 года Ю. Б. Харитон вместе с П. М. Зерновым подписывают тактико-техническое задание, в котором излагались основы двух вариантов пер-

Объемы строительства в КБ-11

Показатель, тыс. руб.	Год				
	1946	1947	1948	1949 (в ценах 1949 г.)	1950 (в ценах 1950 г.)
Всего капитальных вложений	7328	19178	63903	77540	112913
Строительные работы	496	820	50869	59846	100253
Жилищное строительство	–	112	10361	24168	21385

вой советской атомной бомбы. Они обозначались РДС-1 и РДС-2 (сокращение термина «реактивный двигатель специальный» – так по соображениям секретности называли разработки КБ-11, или «изделия», как говорили разработчики).

РДС-1 – это бомба, содержащая заряд из плутония, для подрыва которого предполагалось сферическое обжатие. Его схема была передана нашим разведчикам Клаусом Фуксом. РДС-2 – так называемый пушечный вариант с двумя частями заряда из урана-235, которые должны были сближаться в пушечном стволе до получения критической массы.

Самая распространенная расшифровка знаменитого сокращения РДС – «Россия делает сама» – была придумана Кириллом Ивановичем Щёлкиным, заместителем Ю. Б. Харитона по научной работе, одним из самых активных, творческих сотрудников КБ-11. И надо сказать, эти слова очень точно выражают суть работ над первой бомбой. Ее действительно делала вся страна, весь народ.

По-другому в Советском Союзе тех лет и невозможно было осилить этот чрезвычайно дорогой и трудоемкий проект. Каждый советский человек вкладывал все силы и средства в создание ядерного щита Родины, призванного защитить мир не только в СССР, но и во всем мире. И первым звеном этого щита стала РДС-1.

21 июня 1946-го принято правительственное постановление, конечно, закрытое, о развертывании работ в КБ-11. При этом часть этих работ поручалась многим предприятиям и организациям других министерств и ведомств страны. Так подбирались нужные кадры, определялись организации-смежники и специализация их работы, налаживались на много лет вперед прочные производственные и научные связи.

Первоочередным был признан вариант заряда имплозивного типа. Но в его схеме отсутствовали данные о размерах плутониевого заряда, которые являлись очень существенными. Конкретной конструкции заряда соответствует вполне определенная масса плутония. Она определялась только теоретическими расчетами, опирающимися на физические параметры, которые могли быть получены на сложных физических установках, а также с учетом физико-механических характеристик плутония и газодинамических параметров заряда из взрывчатого вещества.

К осени 1946 года исходные размеры элементов заряда были определены. В тот период у нас еще не было самого плутония, не было данных об энергетике имплозивного взрыва, о нормах и параметрах, предъявляемых к системе электрического задействования взрыва химического взрывчатого вещества (ВВ). Необходимы были многие другие сведения, для получения которых требовалось создание специальных лабораторий, новой физической аппаратуры, новых методик. Все эти сложнейшие задачи могли решить только большие коллективы специалистов высокой квалификации. А между тем в 1946 году в КБ-11, например, работало только 15 научных сотрудников и 19 инженеров и техников – опытные и проверенные (в идеологическом отношении) специалисты, переведенные с переловых предприятий оборонной промышленности страны.

В Москве конструкторская разработка заряда имплозивного типа началась (под руководством Ю. Б. Харитона) с разработки модели в масштабе 1/5 от натуры. Первую прорисовку делал конструктор НИИ-6 Н. А. Терлецкий в специально отведенной комнате, куда имели доступ только Ю. Б. Харитон и главный инженер института М. Н. Аладкин. Вскоре с ним стали работать М. Я. Васильев и П. А. Есин. Устное техническое задание, выданное Н. А. Терлецкому в конце 1945 года, формулировалось так: «Разместить на сфере (шар) 32 точки, равноудаленные друг от друга, а затем разбить шар на сферические многоугольники с центрами в 32 точках. Принимая многоугольники за основания усеченных пирамид, рассчитать углы наклона граней пирамид». Точность расчета задавалась очень высокой, поэтому Терлецкому пришлось много потрудиться, пользуясь обычным арифмометром. Вскоре к

К. И. Щелкин

В. А. Цукерман

работам были подключены еще четыре конструктора, которые и разработали модель заряда. Другая группа конструкторов в 1946 году разрабатывала специальные быстродействующие капсюли-детонаторы и систему электрического задействования капсюлей.

Осенью 1946-го началась газодинамическая отработка заряда из химического ВВ и определение условий его подрыва. Позднее М. Я. Васильев и А. Д. Захаренков начали подготовку к газодинамическим исследованиям в рамках заданной модели, в частности, они выполнили отработку элементов фокусирующей системы. Рентгенографическую аппаратуру для исследований быстропротекающих процессов при взрывах разрабатывал В. А. Цукерман. В 1946 году была начата разработка «нейтронного запала» (НЗ) для натурного заряда. Ею занялись А. Я. Апин и М. В. Дмитриев.

Производственные вопросы, возникавшие при изготовлении моделей, на базе завода № 550 в 1946 году решали В. В. Касютыч, Б. М. Глазков, И. М. Иванов, И. П. Колесов, А. И. Новицкий. Они же занимались и подготовкой производственной базы КБ-11 к выполнению дальнейших работ.

По разработанной документации летом 1946 года было изготовлено две модели заряда. Взрывные опыты с ними были проведены на Софринском полигоне (НИИ-6) под Москвой. По воспоминаниям Н. А. Терлецкого, первая модель была установлена на поле, на деревянной подставке, а участники опыта с пультом подрыва укрылись за углом кирпичного здания. После взрыва все кинулись на поле и были сильно удивлены увиденным: при довольно большом заряде на поле не оказалось никакой воронки, только примятая к земле трава, наклоненная в радиальном направлении от центра взрыва, да сильно деформированный алюминиевый шар, находившийся в центре модели. А от подставки не осталось и следа. Необычность картины обескуражила испытателей, и они решили вторую модель положить на землю, сделав неглубокую лунку. На этот раз в результате взрыва получилась глубокая воронка.

После этих опытов, сделав нужные выводы, разработчики приступили к подготовке документации на экспериментальные блоки заряда натурных размеров. Здесь им пришлось столкнуться со сложными технологическими проблемами из-за крупных размеров деталей из ВВ и очень жестких требований Харитона, предъявляемых к точности и качеству всех элементов конструкции. Параметры точности и надежности Харитон задавал устно. Эти задания конструкторы стремились выполнять неукоснительно.

Практически до завершения работ по РДС-1 за все теоретические результаты отвечал специально созданный сектор Института химической физики АН СССР. К выполнению разного рода теоретических задач привлекались и ведущие физики страны из других институтов. В целях проведения огромного количества расчетов к работам подключались специализированные математические подразделения Академии наук. До 1948 года все математические работы по ядерной тематике проводились за пределами КБ-11. К этим сложнейшим расчетам были подключены подразделения АН СССР: отдел прикладной математики Математического института им. Стеклова под руководством академика М. В. Келдыша, группа в Ленинградском оптико-механическом институте АН СССР, которую возглавлял доктор физико-математических наук Л. В. Канторович, сотрудники Института физических проблем под руководством академика Л. Д. Ландау. В 1948-м в КБ-11 была создана первая математическая

группа, ею руководил М. А. Агрест. Необходимые расчеты выполнялись на клавишных механических и электромеханических настольных машинах типа «Арифмометр» и «Мерседес».

НИИ-6 Министерства сельхозмашиностроения занимался вопросами исследования взрывчатки, в том числе созданием специальных электродетонаторов и рентгенографией взрывных процессов. НИИ-504 того же министерства поручалась разработка автоматических взрывателей для РДС-1 и РДС-2 и создание необходимых высоковольтных установок и радиосхем. Сложные конструкторские работы (в основном по РДС-2) должны были выполняться в КБ Кировского завода в Челябинске и в ГСКБ-47. Лаборатория № 2 АН СССР (будущий Курчатовский институт, г. Москва) решала вопросы, связанные с определением критических масс и методами изучения развития ядерного взрыва. Здесь же 25 декабря 1946 года свершилось знаменательное событие: был осуществлен пуск первого в Европе и Азии уран-графитового ядерного реактора Ф-1. Результаты этого важнейшего достижения самым непосредственным образом ускорили промышленное получение плутония на комбинате № 817 (Челябинск-40, ныне Озерск).

«Объект» набирает силу

В связи с задержкой строительства новый срок начала работ в КБ-11 был Постановлением правительства от 24 марта 1947 года перенесен на 15 мая 1947 года. К этому сроку на «объекте» были построены три заводских корпуса и реконструировано здание Красного дома. Для жилья возвели около ста щитовых домиков, полученных из Финляндии по репарациям. В это время в КБ-11 уже работали четыре лаборатории: рентгеновская (руководитель В. А. Цукерман), деформации металлов (руководитель Л. В. Альтшулер), взрывчатых веществ (руководитель Н. В. Агеев), контроля специзделий (руководитель С. И. Карпов). Вскоре были организованы еще две лаборатории: электро- и радиотехники (руководитель С. Г. Кочарянц), радиохимии и спецпокрытий. С февраля 1947 года начал работать конструкторский отдел.

Очень активно начинали работу и производственники, им предстояло воплотить замыслы ученых и конструкторов в реальность. Руководителем завода в июле был назначен А. К. Бессарабенко, главным инженером стал Н. А. Петров, начальниками цехов – П. Д. Панасюк, В. Д. Щеглов, А. И. Новицкий, Г. А. Савосин, А. Я. Игнатьев, В. С. Люберцев. В 1947 году в структуре КБ-11 появился второй опытный завод – для производства деталей из взрывчатых веществ, сборки опытных узлов изделия и решения многих других важных задач. Это предприятие возглавил А. Я. Мальский.

В ноябре 1946 года в Сарове вошел в строй аэродром, его начальником стал Ф. А. Ковылов. Он проработал на этом посту более 50 лет. Наличие аэродрома позволило увеличить объем грузовых и пассажирских перевозок на строящийся «объект».

Интенсивность работы в КБ-11 с самого начала была очень велика и постоянно возрастала, поскольку первоначальные планы, очень обширные, с каждым днем увеличивались по объему и глубине проработки. Проведение взрывных опытов с крупными зарядами из ВВ было начато весной 1947 года на еще строящихся опытных площадках КБ-11. Вот фрагмент воспоминаний М. А. Манаковой, в 1949-м старшего инженера лаборатории № 3, которую возглавлял В. А. Цукерман: «Я вышла на работу 16 апреля 1947-го. Наша лаборатория располагалась на территории Первого завода, в старом-старом корпусе. Заключенные приносили туда столы, стулья, другую мебель. А я занималась тем, что ходила на склад и получала всякие приборы, оборудование и материалы. Всего было в изобилии. А я, поскольку уже до «объекта» десять лет проработала в физических лабораториях, знала, что нам понадобится, и отбирала необходимое.

В начале мая приехал В. А. Цукерман, сказал, что мы займемся работой на площадке. И мы перебрались в каземат. Оборудовали там фотокомнату, привезли из Москвы 500-киловольтную установку, достали бленды для съемки. Были у нас лаборанты. В каземат регулярно приходила Татьяна Васильевна Захарова в качестве наставника, потому что она и раньше работала со взрывчатыми веществами, а я и другие новые сотрудники о них не имели ни малейшего представления. И Вениамин Аронович устраивал нам лекции у себя дома, на веранде. Проходили они в свободное время: в воскресенье, вечерами. Рассказывал нам о материалах, с которыми мы будем работать, как они себя ведут, объяснял, что такое капсюль-детонатор и как с ним обращаться».

Экспериментальные исследования газодинамики заряда проводились под руководством К. И. Щелкина, а теоретические вопросы разрабатывались группой, находившейся пока в Москве, ее возглавлял Я. Б. Зельдович.

Летом 1947 года в КБ-11 работало уже восемь исследовательских лабораторий:

– отработки фокусирующей системы (руководитель М. Я. Васильев);

Л. В. Альтшулер

А. Я. Мальский

А. К. Бессарабенко

Я. Б. Зельдович

– исследования детонации ВВ (А. Ф. Беляев);

– рентгенографических исследований взрывных процессов (В. А. Цукерман);

– определения уравнений состояния (Л. В. Альтшулер);

– натурных испытаний (К. И. Щелкин);

– измерения сжатия ЦЧ (Е. К. Завойский);

– разработки нейтронного запала, (А. Я. Апин);

– металлургии плутония и урана (Н. В. Агеев).

В октябре 1947 года были созданы еще две лаборатории: Г. Н. Флерова и А. Н. Протопопова.

В начале 1947-го приступил к работе совсем небольшой еще коллектив конструкторов, которыми руководил В. А. Турбинер.

Перечень созданных лабораторий уже говорит о наиболее важных направлениях деятельности КБ-11. При этом необходимо отметить, что работы проводились в тесном взаимодействии ученых с конструкторами и технологами.

Наибольший объем исследований предстояло выполнить газодинамическому сектору. В связи с этим в его лаборатории в 1947 году было направлено наибольшее число специалистов: К. И. Щелкин, Л. В. Альтшулер, В. К. Боболев, С. Н. Матвеев, В. М. Некруткин, П. И. Рой, Н. А. Казаченко, В. И. Жучихин, А. Т. Завгородний, К. К. Крупников, Б. Н. Леденев, В. В. Малыгин, В. М. Безотосный, Д. М. Тарасов, К. И. Паневкин, Б. А. Терлецкая и другие.

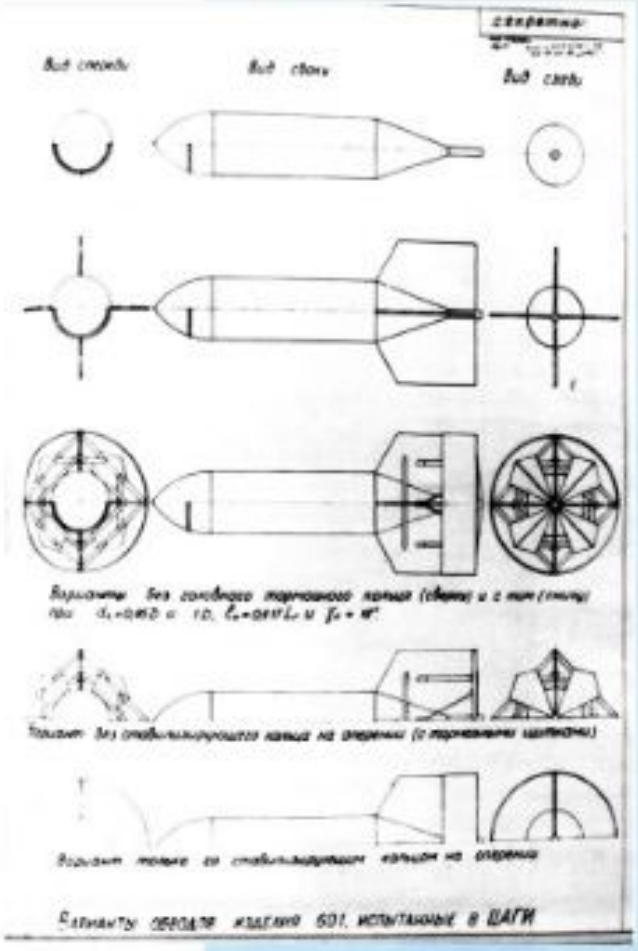
Разработкой НЗ (нейтронного запала) занялись А. Я. Апин, В. А. Александрович и конструктор А. И. Абрамов. Для достижения необходимого результата требовалось освоить новую технологию использования полония, обладающего достаточно высокой радиоактивностью. При этом нужно было разработать сложную систему защиты контактирующих с полонием материалов от его альфа-излучения.

В КБ-11 длительное время велись исследования и конструкторская проработка наиболее прецизионного элемента заряда – капсюля-детонатора. Это важное направление вели А. Я. Апин, И. П. Сухов, М. И. Пузырев, И. П. Колесов и другие.

Развитие исследований потребовало территориального приближения физиков-теоретиков, по-прежнему работавших в Москве, к научно-исследовательской, конструкторской и производственной базе КБ-11. В связи с этим главный конструктор Ю. Б. Харитон 20.11.1947 года обратился с письмом к Л. П. Берия, предложив образовать в КБ-11 теоретическую группу. С марта 1948 года в КБ-11 стал формироваться теоретический отдел под руководством Я. Б. Зельдовича.

Недостаток знаний физических и механических характеристик новых, необычных материалов, применяемых в разрабатываемом изделии, приводил к необходимости выполнять конструкцию первых зарядов с максимальным приближением к расчетно-теоретической схеме. Необычайно высокие требования к чистоте материалов, точности изготовления деталей и проведению сборок были неприемлемы для внешних предприятий. Поэтому ввиду большой срочности работ в КБ-11 стали создаваться свои лаборатории и производственные участки, откомандированные сюда лучшие специалисты Советского Союза осваивали новые высокие стандарты и жесткие условия производства. Так формировалась многопрофильная структура КБ-11.

Для создания атомной бомбы привлекались лучшие специалисты различных направлений и организаций. Однако вот интересная деталь: в подходе к подбору кадров изначально просматривается временно-целевой характер. Начальник КБ-11 П. М. Зернов оставался заместителем министра транспортного машиностроения. Многим специалистам при командировании на предприятия ПГУ бронировалось жилье по старому месту жительства и гарантировалась работа на прежних предприятиях. При этом специалистов с каждым годом набирали все больше. Еще в декабре 1946-го П. М. Зернов и Ю. Б. Харитон подготовили записку «О кадрах, необходимых для развертывания научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ». В ней были указаны научные работники, инженеры и рабочие многих специальностей, связанных с ядерной физикой и взрывными процессами. Правительство приняло ряд срочных мер по привлечению к участию в атомном проекте лучших научных и инженерно-технических кадров страны. В Постановлении СМ СССР № 2143-565сс/оп от 19 июня 1947 года «О мерах по обеспечению развертывания работ в КБ-11», подписанном И. Сталиным, указывается: «...поручить Кузнецову А. А. совместно с тт. Зерновым и Александровым в месячный срок подобрать 36 специалистов из числа наиболее способных физиков и инженеров, членов ВКП(б) и ВЛКСМ, окончивших вузы и втузы в 1945–1947 гг., согласно прилагаемому перечню специальностей, и направить их в распоряжение Лаборатории № 2 АН СССР, независимо от места работы этих специалистов в данное время».



В КБ-11 выполнялась разработка авиационной бомбы для заряда РДС-1

На пути к успеху

В планах, сверстанных в 1946 году, не учитывались многие сложности, открывавшиеся участникам атомного проекта по мере продвижения вперед. К 1948-му стало очевидно: большинство вопросов, намеченных к решению заданиями 1946 года, оказались гораздо более сложными, чем это виделось изначально. Но в целом работа над урановым проектом в КБ-11 и во многих других местах приводила к обнадеживающим результатам. Опираясь на них, специалисты уверенно могли сделать вывод о том, что проект будет успешно завершен. Так в своем специальном заключении написали еще в ноябре 1947-го академик Н. Н. Семенов и члены-корреспонденты АН СССР А. П. Александров и Я. Б. Зельдович. Именно это заключение позволило В. М. Молотову в конце 1947-го сделать официальное правительственное заявление о том,

Встреча академиков Н. Н. Семенова (слева) и И. Е. Тамма с Н. Бором (в центре)

Н. Л. Духов

Б. Г. Музруков

К. Фукс

что для СССР не существует больше атомного секрета. Но до получения самой атомной бомбы предстояло проделать еще много работы. Постановлением СМ № 234-98сс/оп от 8.02.1948 года сроки изготовления заряда РДС-1 были отнесены на более позднее время – к моменту готовности деталей заряда из плутония на комбинате № 817.

Относительно варианта РДС-2 к этому времени стало ясно, что его нецелесообразно доводить до стадии испытаний из-за относительно низкой эффективности этого варианта по сравнению с затратами ядерных материалов. Работы по РДС-2 были прекращены в середине 1948 года, и вся документация по этому варианту изделия уничтожена.

В феврале 1948 года в КБ-11 активно работало 11 научных лабораторий, в том числе теоретики под руководством Я. Б. Зельдовича, переехавшие на «объект» из Москвы. В состав его группы входили Д. А. Франк-Каменецкий, Н. А. Дмитриев, В. Ю. Гаврилов. Расчеты, необходимые физикам, сложнейшие, громоздкие, очень длительные по времени, проводились ими тогда даже не на маленьких и очень шумных электромеханических машинках, а на знаменитых арифмометрах «Феликс», ручку которых надо было крутить без устали. Техника примитивнейшая, а результаты не подводили.

Экспериментаторы не отставали от теоретиков. Важнейшие работы выполнялись в отделах КБ-11, которые отвечали за подрыв ядерного заряда. Конструкция его была ясна, механизм подрыва тоже. В теории. На практике требовалось вновь и вновь проводить проверки, осуществлять сложные опыты. Каждый пройденный этап ставил перед исследователями, конструкторами, инженерами, рабочими новые задачи. Люди работали по 14–16 часов в сутки, полностью отдаваясь делу. Из воспоминаний Г. В. Киреева: «В войну работали по 12 часов. А когда сюда пришел – та же война, 12 часов минимум. Пока задание не сделаешь, забудь про дом. Работали не покладая рук. Начальство тоже. Как-то раз Харитон часа в три ночи приходит в цех. Он тогда с телохранителем ходил. Тот в дверях остался, Харитон подходит ко мне.

– Вот здесь этот размерчик Вы сделали уже?

Он меня знал, но всегда со всеми на «Вы», культурный был. А я только наладился по чертежу точить этот размер.

– Нет, – говорю, – еще нет.

– Вам нетрудно будет его изменить?

Это меня, токаря, главный конструктор спрашивает! Я говорю:

– Отчего же не изменить, вот если бы Вы чуть позже пришли, тогда другое дело, а сейчас настрою, как надо, и все будет в порядке.

– Ну, значит, я успел.

Так часто бывало. Руководство высокое чуть что – сразу к нам в цех. Все они к нам приходили. Причем в любое время суток. Когда они только спали?»

Сильный положительный толчок конструкторским работам дало назначение летом 1948-го в КБ-11 дважды Героя Социалистического Труда Н. Л. Духова. Он стал руководителем первого научно-конструкторского сектора, образованного в августе 1948 года. По мнению Ю. Б. Харитона, приход Духова вывел конструкторов на более высокий уровень результатов, придал необходимую оперативность их работе.

Результаты расчетов и конструкторских проработок быстро воплощались в конкретные детали, узлы, блоки. Эту по высшим меркам ответственную работу выполняли два завода при КБ-11.

Завод № 1 изготавливал многие детали и узлы РДС-1 и затем их собирал. Завод № 2 занимался практическим решением разнообразных задач, связанных с получением и обработкой деталей из взрывчатки, обыкновенной, не ядерной.

Первый промышленный реактор на комбинате № 817 (Челябинск-40) был выведен на проектную мощность 19 июля 1948 года. Вскоре на нем началась наработка плутония-239 в количестве, необходимом для заряда РДС-1. Его изготовление завершилось летом 1949-го. Туда в июне 1949-го приехала группа ученых из КБ-11. В ее составе были Г. Н. Флеров и Я. Б. Зельдович со своими сотрудниками. Они располагали методиками, которые позволяли на основании ряда экспериментальных данных получать значения критической массы и размеров заряда из плутония. Группа под руководством Г. Н. Флерова провела на комбинате необходимые опыты, теоретики рассчитывали по их результатам критические массы и другие параметры заряда. Эта работа была завершена к концу июля.

27 июля 1949-го на комбинате № 817 состоялось совещание, в котором участвовали И. В. Курчатов, Б. Л. Ванников, А. П. Завенягин, Б. Г. Музруков, Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий и Г. Н. Флеров. Было принято решение об окончательной массе плутониевого заряда.

5 августа 1949 года заряд из плутония, изготовленный на комбинате № 817, был принят комиссией во главе с Харитоном и затем отправлен литерным поездом в КБ-11. Здесь в ночь с 10 на 11 августа была проведена контрольная сборка ядерного заряда. Она показала: РДС-1 соответствует техническим требованиям, изделие пригодно для испытаний на полигоне. Советская атомная бомба была сделана за 2 года 8 месяцев. Сравним: в США – за 2 года 7 месяцев. Быстрее нас на один месяц. Всего на один!

Наверняка период работы над первой бомбой оказался бы длиннее, если бы в распоряжение наших ученых советская разведка не предоставила данные, которые регулярно поступали от нескольких специалистов, принимавших самое активное участие в Манхэттенском проекте. Прежде всего от Клауса Фукса, который сотрудничал с советской разведкой сознательно и добровольно с 1941 года до своего ареста в 1950-м. Но какими бы ценными ни были сведения, полученные разведкой, не они определили окончательный успех дела. Огромный, самый важный, определяющий объем работы наши специалисты проделали самостоятельно.

Много позже К. Фукс писал: «Не вызывает сомнения то, что коллектив советских ученых под руководством Курчатова работал в то время с невероятным напряжением сил, и что они, рано или поздно, все равно добились бы успеха, даже без переданной мной информации...» Ю. К. Пужляков, в 1949-м старший инженер отдела 27/3, вспоминал в 1999-м: «Мы знали, ЧТО делать, но КАК делать, нас никто не учил. И мы сами учились технологиям».

8 апреля 1949 года Ю. Б. Харитон и К. И. Щелкин (а 15 апреля, через неделю, Курчатов и Харитон) представили в Спецкомитет на имя Л. П. Берия доклад о решении всех теоретических, конструкторских и технических задач по РДС-1. По своему составу РДС-1 включала в себя две группы комплектующих узлов и приборов. Первая группа – это баллистический корпус с установленными в нем на заводе-изготовителе узлами. Вторую группу составляли узлы, не монтируемые в корпус, они хранились и транспортировались отдельно. Судя по наименованиям на деталях, разработчиком всех систем, узлов, блоков первой группы являлось КБ-11. Изготовителями в ряде случаев были другие номерные оборонные предприятия. Разработчиком четырех из шести узлов второй группы было тоже КБ-11. В нем же изготовили и три узла этой группы. Таким образом, первый ядерный центр страны сыграл ведущую, решающую роль в создании первого советского ядерного изделия – атомной бомбы РДС-1.

Первый заместитель главного конструктора КБ-11 Д. А. Фишман, в 1949-м инженер-конструктор, говорил на одной из исторических конференций РФЯЦ-ВНИИЭФ: «Сам факт испытания РДС-1 венчал титанический труд коллективов, сделавших всю основную работу здесь, в КБ-11».

До испытания

В приложении к докладу Ю. Б. Харитона и П. М. Зернова от 08.06.49 уже содержались «Порядок испытаний РДС-1» и «Программа тренировочных опытов на полигоне». Эти документы тщательно разрабатывались в КБ-11 с начала 1949-го.

К. И. Щелкин в сентябре 1949 года составил отчет об испытании РДС-1, названный им «Краткое описание работ КБ-11, выполненных при подготовке и проведении опыта на полигоне № 2». В отчете говорилось: «Подготовка опыта проводилась в два цикла в связи со сложностью работы и крайней ее ответственностью. Первый цикл был выполнен в КБ-11 в мае-июле 1949-го».

Уже к январю 1949-го весь комплекс конструкторских вопросов по РДС-1 был отработан

(о чем неопровержимо свидетельствуют архивные материалы), и в этом же месяце специалисты КБ-11 составили программу тренировочных опытов. Она включала в себя полный цикл подготовки к полигонному испытанию и план его проведения. В КБ-11 в специальном помещении были воспроизведены в натуральную величину сборочные стенды, подъемная клеть башни, подъездные пути и другие сооружения так, как они были расположены на полигоне. На этом «макете» необходимо было с точностью до малейшего движения, до мельчайшей детали опробовать и выучить окончательный порядок монтажа РДС-1.

11 апреля 1949 года приказом начальника КБ-11 П. М. Зернова создается специальная группа по обеспечению подготовительных работ к предстоящим испытаниям.

Эта группа была обязана:

– подготовить общую программу работ на полигоне;

– составить инструкции и графики, касающиеся конкретных операций;

– провести тренировочные опыты в КБ-11;

– затем такие же на полигоне;

– осуществлять оперативный контроль за ходом подготовки к испытаниям в КБ-11.

На основании предложений, выработанных в КБ-11, с мая по начало июля 1949-го были отобраны все необходимые кадры, разработана технология проведения испытания, назначены руководители всех этапов работы и проведено четыре тренировочных опыта на испытательных площадках КБ-11. В процессе этих подготовительных работ были тщательно отработаны все операции и составлены самые подробные документы – инструкции, графики, технологические карты – по проведению любого этапа подготовки опыта, будь то сборка изделия или аппаратуры, подключение автоматики или проведение репетиций опыта. Эти работы включали огромное число тщательно продуманных операций. Вся последовательность исполнения сохранилась до боевого, или основного, опыта – так называли испытание его участники. Лишь работу в течение последних 4 часов до взрыва нельзя было воспроизвести в КБ-11, потому что она относилась к подготовке подрыва ядерного заряда. Там, в семипалатинской (казахстанской) степи начиная с июня 1949-го уже работало множество людей. Были среди них и группы сотрудников КБ-11 под руководством П. П. Соколовского, Ю. А. Ворошилова и Н. И. Нецветова. Основной отряд специалистов из КБ-11 начал прибывать в конце июля. Пошел второй цикл подготовки к испытанию РДС-1 – полигонный.

Полигон

Первый советский ядерный полигон, который в то время официально назывался учебным полигоном № 2 Министерства обороны, был уникальным технологическим сооружением. Его строительство началось 21 апреля 1947 года. Возводился полигон инженерными войсками Вооруженных сил СССР. В работах, которые обошлись в сумму около 180 млн рублей по ценам 1948 года и были завершены в течение двух лет, принимали участие 15 тысяч военных строителей. В его создании и оснащении необходимым оборудованием и приборами определяющую роль сыграл Институт химической физики АН СССР.

Полигон представлял собой сложную разветвленную структуру со всеми элементами жизнеобеспечения, развернутой научно-исследовательской базой, большим количеством зданий и сооружений на различных площадках. Центральной частью полигона было опытное поле, на котором и должно было происходить первое ядерное испытание СССР.

24 июля из КБ-11 прибыла группа его сотрудников и работников заводов № 1 и 2 во главе с директором П. М. Зерновым. Это были К. И. Щелкин, А. Я. Мальский, С. Н. Матвеев, В. С. Комельков, С. С. Чугунов, Г. П. Ломинский и многие другие. Через несколько дней приехал В. И. Алферов. 26 июля на полигоне № 2 собралась представительная комиссия. Возглавлял ее М. Г. Первухин, заместитель председателя правительства нашей страны, член Специального комитета. В комиссию входили руководящие работники самого высокого ранга и различных специальностей: ученые, инженеры, проектировщики, медики, военные, представители КГБ. Комиссия провела с 27 июля по 5 августа девять заседаний. На них вырабатывался график репетиций, различных тренировочных испытаний, контрольных сборок, мероприятий служб наблюдения и безопасности. На первом же заседании был определен план проведения с 8-го по 22-е августа тренировочных испытаний секторов поля и готовности специалистов КБ-11. Руководство этими очень важными «тренировками» возлагалось на директора КБ-11 П. М. Зернова, генерала В. А. Болятко (от Министерства Вооруженных сил), и представителя КГБ П. Я. Мешика.

В соответствии с выработанным графиком в период с 10 по 26 августа на полигоне прошло десять тренировочных опытов. Все они являлись последовательными этапами в подготовке к предстоящему ядерному испытанию. Среди них нужно выделить операцию «Вперед» – две наиболее

полных репетиции основного опыта. В ходе этих репетиций проводился весь цикл работ по подготовке РДС-1 к подрыву. Только заряд из плутония не устанавливался в изделие. 18-го августа выполнялась первая часть операции «Вперед». Она проводилась с тренировочным зарядом, доставленным на полигон в собранном виде из КБ-11. В ходе второго этапа операции «Вперед» предназначенный для подрыва заряд собирался на полигоне. Второй этап был осуществлен 22 августа в присутствии Ю. Б. Харитона. Он, а также Я. Б. Зельдович, Г. Н. Флеров и еще несколько сотрудников КБ-11 прибыли накануне, 21 августа, специальным поездом. Этот поезд доставил на полигон заряд из плутония и нейтронные запалы к нему. Вскоре на самолете прилетел Н. Л. Духов, а затем и В. А. Давиденко с сотрудниками, они привезли запасные нейтронные запалы последнего изготовления.

Репетиция 22 августа была генеральной, осуществленной по полной программе. В ней принимали участие все подразделения, задействованные на полигоне. На репетиции вместо центральной части испытываемые контрольные изделия содержали алюминиевые керны, по сферичности обжатия которых делался вывод о качестве сборки изделия. Были проведены и различные многократные ревизии автоматики поля. Итоги репетиций и проверок показали: к испытаниям готовы и заряд, и приборы, и управляющая автоматика, и сооружения на полигоне, и участники работ.

Три дня (до 26 августа) отводилось на подготовку к проведению нейтронных измерений, которые должна была непосредственно перед испытанием выполнить группа Г. Н. Флерова.

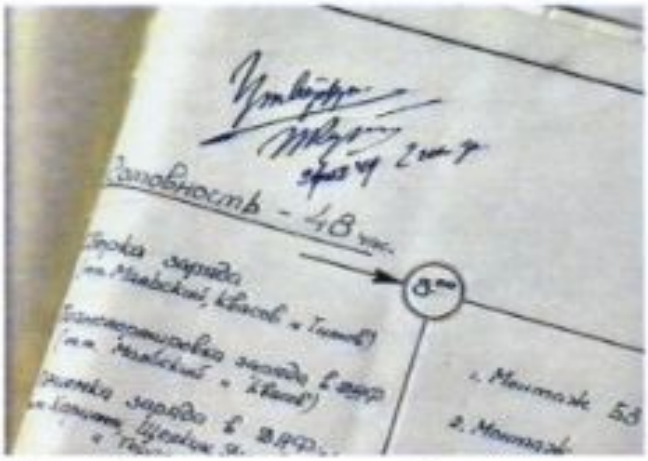
24 августа на полигон прибыли И. В. Курчатов, руководитель опыта, и А. П. Завенягин, член Специального комитета, заместитель Л. П. Берия.

К 26 августа вся подготовительная работа на полигоне успешно завершилась. Поздно вечером в этот день И. В. Курчатов в присутствии члена Спецкомитета А. П. Завенягина рассмотрел все документы по итогам тренировочных испытаний. Тщательный анализ документов показал: все готово к проведению завершающего этапа. И. В. Курчатов установил время основного опыта – 29 августа, 8 утра.

Пошли последние 48 часов перед решающим испытанием, первым советским ядерным взрывом.

Готовность 48 часов

Вечером 26 августа А. Я. Мальский с группой работников завода № 2 при КБ-11 доставили изделие, еще не оснащенное электрооборудованием и зарядом из плутония, к центру опытного поля, в мастерскую окончательной сборки, которая находилась у подножия металлической башни высотой 37,5 м. Именно на эту башню предстояло поднять полностью собранное изделие.



Один из документов плана испытаний

До утра 27 августа всем участникам опыта из КБ-11 был предоставлен отдых. Только группа Н. Л. Духова в течение нескольких часов примеряла поршень, необходимый для заправки в изделие заряда из плутония. В 8.00 27 августа начались работы по окончательному монтажу узлов боевого изделия. Все исполнители получили строжайшее указание ни в малейшей степени не отклоняться от технологических инструкций и графика работ. Каждое сочленение, каждая деталь, каждый механизм тщательно обследовались. Все осознавали огромную ответственность, лежавшую на их плечах. Работы, тем не менее, проходили в спокойной обстановке. Многим исполнителям казалось, что идет не основной опыт, а готовится повторение генеральной репетиции.

Весь день 27-го группа сотрудников КБ-11 под руководством В. И. Алферова и В. С. Комелькова монтировала и проверяла систему «зажигания». За исключением завершающего этапа, который мог быть проведен только по окончании заправки плутониевого заряда в изделие, все работы по системе детонаторов к вечеру 27-го были закончены.

Ночь на 28-е тоже была посвящена отдыху. До 4 часов следующего дня велись последние подготовительные работы на башне и проверялись автоматические линии подрыва. Группа Г. Н. Флерова смонтировала на башне аппаратуру для того, чтобы в последние минуты перед подрывом дистанционным образом проверять нейтронный фон РДС-1. В четыре часа дня 28 августа в мастерскую окончательной сборки был доставлен боевой, то

Взрыв РДС-1, снятый с расстояния 10 км

Пульт, с которого был подан сигнал на подрыв РДС-1

РДС-1

есть плутониевый, заряд и нейтронные запалы к нему.

Для рядовых участников испытания вечер перед взрывом проходил как обычно. Кинооператоры из Москвы снимали очень красивый закат. Сотрудники КБ-11 под руководством Веретенникова по традиции играли в волейбол с командой военных. А подготовка к проведению опыта продолжалась.

Около семи часов вечера 28 августа на полигон, прямо к башне, прибыли председатель Спецкомитета Л. П. Берия и М. Г. Первухин и В. А. Махневым. Они ознакомились с ходом работ и объехали ряд площадок. Около 12 ночи в сборочной мастерской на центре поля началась окончательная сборка изделия, вложение в него главного узла – заряда из плутония и нейтронного запала. Она была осуществлена Ю. Б. Харитоном и Н. Л. Духовым. При этой операции присутствовали И. В. Курчатов, А. П. Завенягин, А. С. Александров, П. М. Зернов. В три ночи 29 августа А. Я. Мальский и В. И. Алферов закончили монтаж изделия. К 4 утра на центр поля, к башне, прибыли подрывники К. И. Щелкин и С. Н. Матвеев. В маленьком чемодане они доставили капсюли-детонаторы, вмонтированные в специальные корпуса. Эти капсюли, или взрыватели, нужно было вложить в изделие, когда оно уже будет поднято на башню. Получив на эту операцию разрешение от Л. П. Берия и И. В. Курчатова, К. И. Щелкин отдал распоряжение доставить заряд к башне. Монтажники КБ-11 под руководством Д. А. Фишмана выкатили изделие из сборочной мастерской по рельсовому пути и установили его в клеть грузового подъемника.

Сначала на башню в пассажирском лифте поднялись К. И. Щелкин, С. Н. Матвеев, за ними А. П. Завенягин и А. С. Александров. Затем Г. П. Ломинский при помощи техника А. А. Измайлова поднял грузовой лифт с изделием на верх башни. В этой кабине поднялся и П. М. Зернов, словно он сопровождал РДС-1 на этом завершающем отрезке длинного пути. На башне Г. П. Ломинский и А. П. Завенягин проверили крепление изделия. В это время Давиденко и Флеров подключили свою аппаратуру. К 5 часам работы на башне были завершены. В пять минут шестого ее покинули все, кроме Щелкина, Ломинского, Матвеева и генералов Александрова, Завенягина и Зернова. К шести часам утра 29 августа эта группа закончила снаряжение изделия взрывателями, подключение его к подрывной схеме и тщательный осмотр. И лишь тогда обнаружили резкое ухудшение погоды. Вниз спустились по лестнице, ветер уже мог помешать работе лифта. Последним был К. И. Щелкин, который пломбой запечатал вход в башню. По пути на командный пункт, в трех километрах от центра, С. Н. Матвеев соединил аппаратуру на башне с аппаратурой центрального пульта. Этой операцией завершились все работы на поле. Оставалась заключительная стадия – подрыв.

Взрыв

В 6.00 на командном пункте, в специально оборудованном каземате собралось все руководство проекта.

К этому времени с поля были эвакуированы люди, снята охрана. Казалось, все приготовления успешно завершены. Но становилось все более реальным новое препятствие – погода резко ухудшалась. Низко над полем проносились рваные облака, затянувшие все небо. Накрапывал дождь. Усиливался ветер, сорвав два аэростата для воздушных наблюдений.

Берия, Первухин и Курчатов вышли из каземата в надежде увидеть хоть какое-то улучшение. Но этого не случилось. И тогда Игорь Васильевич принимает решение перенести время испытания на час раньше, то есть на семь часов утра. Это ничего не меняло в проведении завершающего этапа основного (боевого) опыта, и сотрудники, ответственные за его проведение, спокойно при-

ступили к работе. Операторы-подрывники Щелкин, Давыдов, Чугунов, Денисов и Матвеев в 6.35 включили питание системы автоматов. На командном пункте, во всех помещениях каземата наступила тишина. Ее прерывал только голос Мальского, которому выпало дежурить в эту ночь в диспетчерской. Он монотонно отсчитывал время. Сначала минуты. Затем, за двадцать секунд до взрыва, Кирилл Иванович Щелкин включил главный рубильник, соединивший изделие РДС-1 с автоматикой управления. В семь часов утра 29 августа 1949 года Семипалатинский полигон озарился ослепительным светом. Советский Союз успешно завершил разработку и испытание первой ядерной бомбы.

Очень счастливые годы

Теперь, спустя более полувека после событий августа 1949 года, в живых остались совсем немногие участники той героической эпопеи. Тем важнее сохранить их свидетельства об удивительном времени, прислушаться к оценкам, которые они дают своей работе и жизни в те далекие годы.

Из воспоминаний Ю. К. Пужлякова: «Я приехал сюда в 1948 году. С этого времени до момента взрыва мы работали очень интенсивно, день и ночь. Но мы умели и отдыхать. В свободные минуты мы ходили на бобровую плотину посмотреть, как живут бобры».

Бобры тогда жили совсем недалеко от Города, внутри периметра. А то на них вряд ли удалось бы посмотреть. Степень секретности на «объекте» установили такую, что не только отдохнуть за зоной было невозможно – поговорить дома о работе никому не приходило в голову. М. А. Манакова вспоминала: «Нет, о работе мы никогда дома не говорили. Настолько над нами довлела секретность, что даже дома мы избегали говорить, как провели день и что делали. И абсолютно не знали о работах друг друга. На испытаниях РДС-1 был мой муж, Диодор Михайлович. Он просто сказал мне, когда поехал туда, что уезжает в командировку. А когда вернулся, единственные слова были: «Все хорошо». Что готовится испытание, что это будет взорвана РДС-1, мы ничего не знали. Это была строжайшая тайна. И узнали мы обо всем несколько лет спустя, когда нам показали фильм, снятый на полигоне. Для сотрудников организовали закрытый просмотр, я тоже на нем была и только тогда поняла, куда Диодор Михайлович уезжал в командировку в августе 1949-го».

Ю. К. Пужляков: «Режим был строгий. По-другому было нельзя – все-таки атомная бомба готовилась, и утечка информации могла плохо кончиться».

Зона, тяжелая, часто опасная работа, напряженные сроки, огромная ответственность... А жили весело и дружно, не сомневаясь, что делают важное, нужное дело. Помогая друг другу во всем, и в обычных делах, и в работе. Из воспоминаний М. А. Манаковой: «Раньше, особенно в первые годы, обстановка у нас здесь была изумительной. Так все дружно работали, с такой самоотдачей, не считаясь со временем, не говоря о зарплате. Все полностью отдавали себя работе. И в то же время хорошо отдыхали, вместе проводили свободное время. Мне кажется, тогда вокруг были только хорошие люди. Мы в лаборатории все были ближе, чем родные, так и сейчас говорим, когда вспоминаем то время... Счастливая, очень счастливая была жизнь».

Успех, достигнутый в 1949 году трудом сотен тысяч советских людей, объединенных одним замыслом, одной героической идеей, был высоко оценен руководством СССР. Но главное было не в наградах. Вот что пишет в своих воспоминаниях доктор технических наук В. С. Комельков, ветеран атомной отрасли, работавший в 1948–1951 годах в КБ-11: «Успешные испытания не отмечались ни реляциями, ни банкетами, ни громогласными поздравлениями. Труд тысяч и тысяч людей, поднявших на своих плечах первую часть атомной эпопеи, был доведен до победоносного финиша, и это доставляло огромное удовлетворение, придавало уверенность в своих силах. Мы прочно, обеими ногами, стояли на земле. Прошло немного дней, и премией нам стала шумиха встревоженного и озадаченного Запада. Запрограммированные на 15-летнее отставание Советского Союза и на мировое господство, американские генералы и политики не сразу поверили, что рушится разработанный ими план порабощения и уничтожения нашего народа... Даже в 1953 году Трумэн, а значит, и генштаб отказались верить, что "русские имеют достаточно технических знаний, чтобы собрать все сложные механизмы бомбы и заставить ее действовать"».

Ю. Б. Харитон написал в 90-х годах прошлого века: «Я поражаюсь и преклоняюсь перед тем, что было сделано нашими людьми в 1946–1949 годах. Было нелегко и позже. Но этот период по напряжению, героизму, творческому взлету и самоотдаче не поддается описанию... Через четыре года после окончания смертельной схватки с фашизмом моя страна ликвидировала монополию США на обладание атомной бомбой».

Академик

ЮЛИЙ БОРИСОВИЧ ХАРИТОН

(27 февраля 1904 г. — 19 декабря 1996 г.)

Юлий Борисович Харитон являлся руководителем нашего института в течение 50 лет: в 1946–1959 гг. он был главным конструктором, в 1952–1992 гг. — научным руководителем, а в 1992–1996 гг. — почетным научным руководителем РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Еще до создания института признание получили его выдающиеся исследования в области химического взрыва и физики цепных реакций. В 1943 году, практически в самом начале работ по атомному проекту СССР, И. В. Курчатов привлек Ю. Б. Харитона к решению задач, связанных с созданием атомной бомбы.

К 1946 году стало ясно, что важнейшие работы по разработке и созданию собственно ядерного взрывного устройства должны быть сконцентрированы в одной специализированной научной организации. Такая организация была создана (КБ-11, ныне — РФЯЦ-ВНИИЭФ), и ее первым главным конструктором стал Ю. Б. Харитон.

29 августа 1949 года в 7 часов утра по Семипалатинской степи прокатился грохот взрыва первой советской атомной бомбы. СССР приобрел статус ядерной державы.

Выдающаяся роль Ю. Б. Харитона в этой грандиозной работе была оценена на самом высоком уровне — вместе с И. В. Курчатовым Ю. Б. Харитон стал Героем Социалистического Труда и лауреатом Сталинской премии.

Следует отметить принципиальную важность того, что, хотя физическая схема заряда РДС-1 была аналогична американской схеме, конструкция, технологии и производство заряда были советские. Важно подчеркнуть, что, несмотря на указанные обстоятельства, 100%-ной вероятности успеха первого советского испытания не было.

В период 1949–1951 гг. в КБ-11 была радикально улучшена схема атомной бомбы, что позволило в дальнейшем осуществить широкомасштабные разработки ядерного оружия для решения конкретных военно-технических задач. Выдающаяся роль Ю. Б. Харитона в этой работе была отмечена награждением его второй золотой медалью Героя Социалистического Труда и присуждением ему Сталинской премии.

12 августа 1953 года на Семипалатинском полигоне была успешно испытана первая советская термоядерная бомба РДС-6С. За этот выдающийся результат в КБ-11 10 человек были удостоены звания Героя Социалистического Труда. Практическая реализация этой разработки в КБ-11 неразрывно связана с именем Ю. Б. Харитона. В 1953 году он был награжден третьей золотой медалью Героя Социалистического Труда, удостоен звания лауреата Сталинской премии и стал действительным членом АН СССР. Это было высокое признание огромных заслуг Юлия Борисовича перед страной. И признание это пришло, по существу, в начале пути Ю. Б. Харитона как руководителя нашего ядерного центра.

В последующие годы Ю. Б. Харитон был неразрывно связан со всей многосторонней деятельностью института. Он активно и творчески участвовал в определении перспектив ядерно-оружейной деятельности и приоритетов разработок, занимался выбором проектов, намечал способы их реализации. Ему необходимо было направлять в единое русло усилия теоретиков, математиков, конструкторов, экспериментаторов и многих других специалистов в работах над проектами, вести подготовку испытаний, осуществлять взаимодействие с заказчиком, организациями МСМ, разработчиками носителей и выполнять массу другой работы по выработке и реализации ядерно-оружейных программ.

Как человек, стоявший у истоков атомного проекта, прошедший и во многом определивший весь путь становления и развития ядерно-оружейных технологий, Ю. Б. Харитон по праву носил неофициальное, но очень почетное звание патриарха ядерной отрасли, оставался ее непререкаемым научным лидером. Его интересы были необыкновенно широки и распространялись на развитие вычислительной техники, создание новых экспериментальных установок, поддержку новых направлений исследований. Он неизменно пользовался огромным авторитетом. Его научная эрудиция, уважительное общение с практически любым собеседником, от академика до молодого специалиста, искренний интерес ко всему новому, удивительная работоспособность вызывали восхищение.

Ю. Б. Харитон является создателем огромной научной школы. Практически все выдающиеся специалисты в области создания ядерного оружия нашей страны в значительной степени были либо его учениками, либо учениками его учеников.

Юлий Борисович Харитон внес выдающийся вклад в создание ядерного щита нашей страны, который и сегодня является основой национальной безопасности России. Его имя неразрывно связано с уникальным научно-техническим преобразованием жизни нашей цивилизации, которое позволило назвать вторую половину XX века «Атомным веком».

Академик

ЯКОВ БОРИСОВИЧ ЗЕЛЬДОВИЧ

(8 марта 1914 г. — 2 декабря 1987 г.)

Яков Борисович Зельдович начал заниматься непосредственно ядерной физикой еще до войны. Вместе с Ю. Б. Харитоном они выполнили и опубликовали цикл работ по урану. Одна из них посвящалась исследованию возможности цепной реакции в природных залежах урана. Авторы доказали, что она невозможна при современном процентном соотношении природных изотопов ^{234}U, ^{235}U и ^{238}U, из которых делится только ^{235}U. В 1939 году они впервые осуществили расчет цепной реакции деления урана.

В 1943 году И. В. Курчатов привлекает Я. Б. Зельдовича к решению задач в рамках атомного проекта. Якову Борисовичу удалось построить так называемую возрастную теорию замедления нейтронов и получить знаменитое «уравнение возраста», которое позволило определить критический размер реактора.

Я. Б. Зельдович — активный участник разработки первого атомного заряда (руководитель исследований по построению общей теории атомной бомбы) и его первого испытания. Я. Б. Зельдовичу в 1949 году присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина, а также звание лауреата Сталинской премии.

Яков Борисович и руководимый им коллектив были активными участниками работ по созданию последующих вариантов новых атомных зарядов и первой водородной бомбы. За эти работы Я. Б. Зельдович дважды (в 1953 и 1956 гг.) был удостоен звания Героя Социалистического Труда, дважды (в 1951 и 1953 гг.) ему присуждалась Сталинская премия.

Еще в 1953 году внимание Зельдовича привлекла физика элементарных частиц. Им были сформулированы закон сохранения лептонов и понятие лептоновского числа. Некоторые его работы в этой области зарегистрированы Комитетом по делам открытий и изобретений при СМ СССР как открытия. Он предсказал новый тип распада элементарных частиц — пионов, нашедший полное подтверждение в работах экспериментаторов Дубны.

В 1958 году Я. Б. Зельдович избран академиком АН СССР. С 1965 по 1983 год он заведовал отделом Института прикладной математики АН СССР. С 1965 года — профессор физического факультета Московского государственного университета, заведующий отделом релятивистской астрофизики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга.

Последние годы жизни он посвящает астрофизике и космологии. Большой цикл работ Зельдовича и его учеников посвящен вопросам «старения» звезд разной массы. Наиболее крупный вклад Я. Б. Зельдовича в современную космологию галактик — его знаменитая теория, в которой описывается развитие гравитационной неустойчивости в *расширяющейся Вселенной* (мире).

Академик Л. Д. Ландау нередко говорил, что он не знает ни одного физика, исключая Э. Ферми, который обладал бы таким богатством новых идей, как Я. Б. Зельдович. Яков Борисович был автором не только идей, но и новой терминологии. Так, с его легкой руки в наших отчетах укоренились удобные для анализа ядерного взрыва единицы, например, для времени — «миги», для энергии — «ломы», для числа частиц — «кварты».

Я. Б. Зельдович был выдающимся физиком, внесшим огромный вклад во многие области науки и техники, автором многих статей, монографий и книг. В нем всегда поражала неустанная научная активность, поразительная разносторонность и интуиция. Он работал до последнего дня жизни.

Яков Борисович — член немецкой академии «Леопольдина», Американской академии наук и искусств, Национальной академии наук США, Лондонского королевского общества, Венгерской академии наук, почетный доктор Кембриджского и Сассекского университетов и ряда физических обществ.

Он награжден тремя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Октябрьской Революции, медалями. Удостоен почетных медалей им. Н. Мансона (1972) и им. Б. Льюиса (1984) за работы по газодинамике взрывов и ударным волнам, медали им. И. В. Курчатова — за открытия в ядерной физике (1977), Катарины Брюс — за достижения в области астрономии (1983), медалью Международного центра теоретической физики им. П. Дирака (1985).

Академик

АНДРЕЙ ДМИТРИЕВИЧ САХАРОВ

(21 мая 1921 г. — 14 декабря 1989 г.)

В 1952 году в отзыве о научной деятельности Андрея Дмитриевича Сахарова при защите докторской диссертации И. Е. Тамм писал: «Сахаров А. Д. является одним из самых крупных ведущих физиков нашей страны. Недостаточно было бы сказать, что он обладает широкой эрудицией, весь стиль его научного творчества свидетельствует, что физические закономерности и связи явлений для него непосредственно зримы и ощутимы во всей своей внутренней простоте. Этот дар, в сочетании с редкой оригинальностью научной мысли и напряженностью научного творчества, позволил ему в течение последних пяти лет выдвинуть три научно-технические идеи первостепенного значения...».

Лучшее, что сделал Андрей Дмитриевич, носило характер озарений, находок, полученных в процессе глубоких размышлений над проблемой. Он предвидел результат буквально «сквозь» сложнейшие формулы.

А. Д. Сахаров родился в г. Москве, в школу пошел сразу в седьмой класс. По окончании школы в 1938 году он поступил на физический факультет МГУ. После четырехлетнего сокращенного университетского курса в 1942 году был направлен на завод в Коврове, а затем в том же году попал на работу в лабораторию военного завода в Ульяновске. Здесь же началась его творческая деятельность. Он сделал четыре изобретения в области контроля качества продукции, выполнил четыре работы по теоретической физике. Они не были опубликованы. В одной из работ он рассматривал цепную реакцию в уране в смеси с замедлителем. Молодой физик переслал свои работы И. Е. Тамму, руководителю теоретического отдела ФИАН, и в январе 1945 года был принят к нему в аспирантуру. За два года Андрей Дмитриевич опубликовал несколько статей по совершенно разным проблемам (генерация пионов при соударении нуклонов высокой энергии, оптическое определение температуры газового разряда, теория ядра). Это были зрелые работы, в которых уже проявлялся его выдающийся талант. На них основывалась кандидатская диссертация, которую он защитил в 1947 году.

В 1948 году И. Е. Тамм включил Андрея Дмитриевича в группу сотрудников теоретического отдела ФИАН, организованную для исследования возможности создания водородной бомбы. Выдвинутые здесь важные идеи поставили решение проблемы на реалистическую основу. Согласно Постановлению СМ СССР от 26 февраля 1950 года, А. Д. Сахаров в составе расчетно-теоретической группы, возглавляемой И. Е. Таммом, начал работу в КБ-11 (ВНИИЭФ), где занимал должности заведующего лабораторией, начальника сектора (отделения), заместителя научного руководителя.

Задача создания водородной бомбы, поставленная перед группой И. Е. Тамма, была не только сложна технически и в производстве, но и требовала решения многих чисто научных вопросов. Группу составляли талантливые физики-теоретики, но А. Д. Сахаров выделялся и среди них. Он был не только гениальным физиком-теоретиком, но и замечательным изобретателем, превосходно чувствовал эксперимент.

«Может показаться невероятным, но уже через пару месяцев (после включения в группу И. Е. Тамма) Андреем Дмитриевичем были высказаны основополагающие идеи, определившие дальнейшее развитие всей проблемы», — пишет Ю. А. Романов. Предложенная А. Д. Сахаровым конструкция из чередующихся слоев делящихся материалов разной плотности («слойка») быстро приобрела реалистический облик, и 12 августа 1953 года первая советская водородная бомба была успешно испытана. Реализация идей А. Д. Сахарова по прану позволила назвать его «отцом советской водородной бомбы». Андрей Дмитриевич в 1953 году стал академиком АН СССР, ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и присуждена Сталинская премия. Продолжая работать над совершенствованием водородного оружия, в 1954 году А. Д. Сахаров выдвинул новую идею конструкции водородной бомбы на совершенно новом принципе, испытание которой успешно прошло в 1955 году. Этим испытанием завершился этап разработки основ термоядерного оружия. А. Д. Сахаров был удостоен второй звезды Героя Социалистического Труда и немного позднее Ленинской премии.

В последующие годы под руководством Андрея Дмитриевича был создан ряд водородных зарядов различной мощности для многих классов носителей (баллистических, крылатых и зенитно-управляемых ракет, торпед и т. д.), которые стали звеньями ядерного щита нашей Родины. В 1962 году на полигоне Новая Земля была испытана разработанная под руководством А. Д. Сахарова водородная бомба мощностью 50 Мт. За создание этой сверхмощной бомбы Андрей Дмитриевич в третий раз был удостоен звания Героя Социалистического Труда.

К этому времени он стал больше внимания уделять теоретическим проблемам физики частиц, космологии и гравитации. Уже в 1965 году он опубликовал первую глубокую работу по космологии, высказал ряд новых идей по многим направлениям науки.

В середине 60-х годов у А. Д. Сахарова формируется новый взгляд на общественно-политические проблемы. Результатом этого стал его труд «Размышления о прогрессе, мирном существовании и интеллектуальной свободе» (1968). С лета 1969 года он — старший научный сотрудник Физического института АН СССР им. Лебедева, но вся его творческая активность была направлена на правозащитное движение, за что он получил Нобелевскую премию мира (1970).

Академик

ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ТРУТНЕВ

(2 ноября 1927 г.)

Юрий Алексеевич Трутнев — выдающийся ученый, один из основоположников и создателей ядерного и термоядерного оружия. Он поступил на работу в теоретический отдел КБ-11 в 1951 году после окончания Ленинградского государственного университета.

Юрий Алексеевич, совместно с гигантами нашей науки А. Д. Сахаровым и Я. Б. Зельдовичем, является одним из авторов важнейшего изобретения принципов радиационной имплозии и одним из создателей первого термоядерного заряда на основе этого нового принципа — РДС-37. За эти работы Юрий Алексеевич в 1956 году награжден орденом Ленина. Дальнейшее усовершенствование принципа радиационной имплозии, выполненное Ю. А. Трутневым совместно с Ю. Н. Бабаевым в рамках проекта «49», явилось фундаментом для большинства разработок термоядерного оружия нашей страны. За решение этой задачи в 1959 году Ю. А. Трутнев и Ю. Н. Бабаев были удостоены Ленинской премии. Ю. А. Трутнев является одним из авторов и руководителей разработки «Проекта 602» — самого мощного термоядерного заряда в истории ядерного проекта.

В 1958–1962 гг. под руководством Ю. А. Трутнева были разработаны термоядерные заряды, ставшие основой нашей системы ракетно-ядерных вооружений. Эти работы были отмечены присвоением ему в 1962 году звания Героя Социалистического Труда.

Под руководством Ю. А. Трутнева была решена фундаментальная задача обеспечения зажигания термоядерного горючего под действием радиационной имплозии и тем самым создан прообраз схемы взрывной термоядерной энергетики будущего.

В 1965 году Ю. А. Трутнев назначается руководителем научно-теоретического отделения ВНИИЭФ, в 1966 году — заместителем научного руководителя ВНИИЭФ, в 1978 году — первым заместителем научного руководителя ВНИИЭФ. С 1999 года Юрий Алексеевич является первым заместителем научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ по перспективным направлениям работ.

В 1964 году Ю. А. Трутнев стал членом-корреспондентом, а в 1991 году — академиком РАН.

Наши специалисты под руководством Ю. А. Трутнева разработали ядерные и термоядерные заряды различного назначения для оснащения большинства видов Вооруженных Сил. Его работы сыграли определяющую роль в становлении основных идей новой области знаний, развитии расчетно-теоретической базы и разработке конкретных образцов вооружения. Исключительно важной является инициатива Ю. А. Трутнева по созданию зарядов на новых физических принципах.

По инициативе Ю. А. Трутнева во ВНИИЭФ начали разрабатываться промышленные заряды, имеющие важное народно-хозяйственное значение. Некоторые из них были успешно применены на практике (создание водохранилищ, гашение газовых факелов, интенсификация газовых и нефтяных месторождений и т. д.).

Большое значение в период дезинтеграции СССР имела деятельность Ю. А. Трутнева, направленная на сохранение ядерного статуса России. Он выступал за нормализацию российско-американских отношений и ликвидацию антиамериканской направленности стратегических ядерных сил России. Важна и деятельность Ю. А. Трутнева в качестве члена научно-консультативного комитета при Совете директоров МНТЦ. Им проводится большая работа по экспертизе и отбору проектов МНТЦ, что способствует международному научно-техническому сотрудничеству и повышению международного научного статуса РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Его достижения отмечены и высокими наградами России: орденами «За заслуги перед Отечеством» III и II степени, Золотой медалью РАН имени И. В. Курчатова.

В последние годы большое внимание Ю. А. Трутнев уделяет работам по вопросам обеспечения безопасности ядерных энергетических установок и перспективам развития атомной энергетики. Под его научным руководством в институте выполняются важные работы в области развития неядерных видов вооружений, разработки нетрадиционных источников энергии, развития перспективных средств диагностики. Творческое долголетие, выдающаяся энергия и научная смелость Ю. А. Трутнева восхищают его учеников и последователей.

Член-корреспондент

ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ БАБАЕВ

(21 мая 1928 г. — 6 октября 1986 г.)

Юрий Николаевич Бабаев как физик-теоретик всю свою творческую энергию отдал созданию и совершенствованию термоядерного оружия.

Он родился в Москве. В 1941 году его семья эвакуировалась сначала в Челябинскую область, а затем в Ленинабадскую (Таджикистан). Летом Юрий работал забойщиком на руднике. В 1944 году семья вернулась в Москву, где юноша в 1945 году окончил школу, а в 1950 году — физический факультет Московского университета, после чего Ю. Н. Бабаев был направлен во ВНИИЭФ, в отдел А. Д. Сахарова.

Молодой специалист стал активным участником работ над термоядерными зарядами. Он внес существенный вклад в успех испытаний 1953 и 1955 годов. Им были предложены удачные интерполяционные формулы уравнений состояния, опирающиеся на расчеты Лэттера (США), а также оригинальные формулы для учета отражения излучения от стенок при его диффузии по каналам. За вклад в создание первых образцов термоядерных зарядов Ю. Н. Бабаев награжден орденом Ленина и Государственной премией.

В 1956 году Ю. Н. Бабаев совместно с Ю. А. Трутневым выдвинул новую идею, реализация которой позволила значительно уменьшить диаметр и вес термоядерных зарядов. В испытании 1958 года энергия взрыва оказалась на 25 % больше ожидаемой. Эта работа была отмечена Ленинской премией (1959). С тех пор почти во всех боевых термоядерных зарядах используется техническое решение, предложенное Ю. А. Трутневым и Ю. Н. Бабаевым.

В период воздушных испытаний он совместно с А. Д. Сахаровым и Ю. А. Трутневым явился одним из основных разработчиков новых образцов термоядерных зарядов, большинство из которых были поставлены на вооружение. Наибольшую известность получил заряд мощностью 100 млн. тонн тротила (1962), только 3 % мощности которого обязаны реакции деления, а остальная мощность выделяется за счет реакции термоядерного синтеза. За успешные результаты при создании термоядерного оружия в 1962 году Ю. Н. Бабаеву было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

В 1962 году Юрий Николаевич совместно с В. Б. Адамским и В. Г. Заграфовым выступил с предложением о возможности получения значительных количеств трансурановых элементов (кюрия, калифорния и т. п.) в специализированном термоядерном узле, в котором отсутствуют уран-235 и плутоний. Ожидалось, что у трансурановых элементов критическая масса будет в несколько раз меньше, чем у плутония. Совместно с Е. С. Фрадкиным и Г. В. Пинаевой Ю. Н. Бабаевым была корректно поставлена математическая задача по квантово-механическому расчету пробегов излучения с учетом дискретно-дискретных переходов.

С 1962 года Ю. Н. Бабаев — доктор технических наук.

Совместно с Ю. А. Трутневым и А. В. Певницким в 1963 году им были проведены оценки стационарной установки для производства электроэнергии и изотопов. Основу такой установки должна была составлять стальная камера радиусом несколько десятков метров и массой несколько миллионов тонн. В ней можно было бы проводить взрывы мощностью около 10 кт тротила. На территории Казахстана был сооружен макет такой камеры диаметром 12 м. Сегодня такие камеры диаметром 20 м предполагается использовать для проведения микровзрывов термоядерных мишеней с выделением порядка 200 МДж термоядерной энергии (50 кг тротила).

После отъезда Я. Б. Зельдовича и А. Д. Сахарова в Москву Ю. Н. Бабаев совместно с Ю. А. Трутневым возглавил работы теоретического подразделения над новыми образцами стратегического термоядерного оружия.

В период подземных испытаний по его инициативе начаты работы над конструкциями повышенной сложности. Разработать такие конструкции и обосновать их работоспособность невозможно без проведения сложных двумерных расчетов газодинамики с теплопроводностью, что послужило мощным толчком для развития двумерных математических методик во ВНИИЭФ. Проведенные эксперименты подтвердили как правильность его идей, так и представительность расчетов.

В 1968 году Юрий Николаевич избран членом-корреспондентом АН СССР по отделению ядерной физики.

В 1980-е годы фокус его интересов переместился на проблемы конструирования оптических и рентгеновских лазеров с накачкой от ядерного взрыва.

Ю. Н. Бабаева отличала большая изобретательность, смелость, оптимизм в проведении исследований. Какими бы непреодолимыми в начале работы ни казались трудности, он всегда был уверен, что они временны и за счет изобретательности их удастся преодолеть.

Академик

ЕВГЕНИЙ АРКАДЬЕВИЧ НЕГИН

(16 января 1921 г. — 3 февраля 1998 г.)

Евгений Аркадьевич Негин принадлежит к тем выдающимся руководителям и специалистам, которые на долгие годы определили направления исследований и разработок в РФЯЦ-ВНИИЭФ и тем самым сформировали наш институт как крупнейший научно-исследовательский и проектный центр мирового уровня.

В 1941 году после окончания трех курсов физико-математического факультета Горьковского государственного университета им. Н. И. Лобачевского Е. А. Негин был призван в армию и направлен курсантом в Военно-воздушную инженерную академию им. Н. Е. Жуковского. После окончания в 1944 году факультета авиационного вооружения он был зачислен в адъюнктуру по кафедре стрелково-пушечного вооружения. В период учебы в академии Е. А. Негин проходил практику на фронте в действующих авиационных частях. В 1945 году он участвовал в параде Победы на Красной площади в Москве.

В 1948 году Е. А. Негин окончил адъюнктуру, защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук и остался в академии младшим преподавателем кафедры стрелково-пушечного вооружения.

В 1949 году он был переведен в КБ-11, где до 1952 года работал младшим, а затем старшим научным сотрудником в отделе Е. И. Забабахина (теоретический сектор). В те годы Е. А. Негин получил детальные оценки работоспособности зарядов с малыми массами активных материалов, установил вероятностные зависимости энерговыделения от величины инициирующего нейтронного фона. Кроме того, он выполнил ряд расчетов по малогабаритным зарядам, выдвинул предложения по значительному повышению энерговыделения зарядов, решил задачу об оптимальном отборе энергии от ВВ. Эти результаты используются и в настоящее время.

В мае 1955 года Евгений Аркадьевич назначается заместителем главного конструктора и научного руководителя КБ-11. Опыт работы в теоретическом и газодинамическом секторах обеспечил ему глубокое понимание проблем, связанных с созданием ядерных зарядов (ЯЗ). Он активно и успешно занимается проблемами разработки ЯЗ, экспериментами и испытаниями, проводимыми в КБ-11. Евгений Аркадьевич участвовал в полигонных испытаниях в качестве научного руководителя или первого заместителя. Под его руководством были проведены первые подводные испытания (1955), первое подземное испытание (1961), ядерные испытания в глубоких (до 1500 м) скважинах, ядерный взрыв с целью тушения горящего мощного газового факела в районе Урта-Булака (Узбекистан).

В 1959 году Е. А. Негин назначается на должность главного конструктора КБ-11 по разработке ЯЗ.

Руководя всем комплексом конструкторских, экспериментальных и технологических работ по разработке и испытаниям ЯЗ, Евгений Аркадьевич показал себя крупным организатором и ученым, выявил свое умение глубоко и всесторонне анализировать рассматриваемый вопрос, видеть перспективу, принимать взвешенные и объективные решения. В 1974 году он был избран членом-корреспондентом, а в 1979 году — действительным членом Академии наук СССР.

Характерным стилем Е. А. Негина являлось умение доводить разработки до логического завершения. Он всегда находил время для изучения новых идей. Не останавливая те проекты, которые обещали дать реальный результат уже в ближайшее время, он организовывал параллельные исследования, обеспечивая при этом широкий фронт теоретических, экспериментальных и конструкторских работ.

В 1978 году Евгений Аркадьевич назначается директором ВНИИЭФ с сохранением должностей главного конструктора и первого заместителя научного руководителя. Круг вопросов, которые он решал, существенно расширился, и со всеми своими новыми обязанностями он успешно справлялся.

В 1987 году Е. А. Негин попросил освободить его от должности директора института, а в 1991 году — от двух других руководящих должностей. Он стал советником при дирекции ВНИИЭФ, а с 1992 года возглавлял лабораторию исторических исследований. Во многом благодаря его инициативе начали проводиться конференции, посвященные истории разработок ядерного оружия в СССР. Евгений Аркадьевич внес очень большой вклад в подготовку и издание уникальной книги «Советский атомный проект».

Е. А. Негин — Герой Социалистического Труда, доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской, двух Сталинских премий и Государственной премии СССР, генерал-лейтенант авиации. Он награжден четырьмя орденами Ленина, орденом Октябрьской Революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Красной Звезды и многими медалями.

Академик

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ ПАВЛОВСКИЙ

(27 июня 1927 г. — 12 февраля 1993 г.)

Александр Иванович Павловский родился в г. Запорожье, до 1941 года жил в Харькове. В 1942 году юноша, находясь в эвакуации в Новосибирске, поступил в техникум, окончил первый курс, затем начал работать. Вернувшись в Харьков, он в 1944 году поступил в авиационный институт, а после окончания трех курсов перешел на физический факультет Харьковского государственного университета, который окончил в 1951 году, и сразу был направлен на работу во ВНИИЭФ.

Молодой физик-экспериментатор разработал установку, позволившую провести ряд весьма актуальных исследований. Эти результаты уже в 1953 году были отмечены присуждением Сталинской премии. А. И. Павловский занимался вопросами создания нейтронных генераторов, физикой деления ядер, с 1960 года руководил крупным исследовательским отделом отделения 04 ВНИИЭФ. В 1971 году он возглавил это отделение, затем стал заместителем научного руководителя ВНИИЭФ, с 1993 года — первым заместителем, продолжая возглавлять отделение.

В конце 50-х годов А. И. Павловский с группой сотрудников разрабатывает оригинальный малогабаритный импульсный циклический ускоритель электронов — безжелезный бетатрон, в котором достигнуты энергия электронов и токи, значительно превосходящие значения, характерные для обычных железных бетатронов. Это позволило создать простые и компактные генераторы интенсивных коротких импульсов тормозного излучения для исследования быстропротекающих процессов. Разработанный метод получил название метода гамматрафических исследований. Эти работы в 1963 году были отмечены Ленинской премией и составили основу докторской диссертации, которую А. И. Павловский защитил в 1963 году. В 1966 году ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Александр Иванович был одним из авторов, инициатором и руководителем создания нового типа линейных импульсных индукционных ускорителей электронов. Общепризнанный приоритет российской науки в создании и развитии ускорителей такого типа обеспечен работами А. И. Павловского, его ближайших учеников. Такие ускорители используются для изучения проблем физики интенсивного радиационного воздействия.

В 1979 году А. И. Павловский избирается членом-корреспондентом АН СССР по отделению ядерной физики.

Большое внимание Александр Иванович уделил развитию экспериментальной базы ВНИИЭФ: созданию мощных импульсных ядерных реакторов и крупных физических установок, обеспечивающих изучение взаимодействия нейтронов, гамма-квантов, заряженных частиц с веществом. Он неоднократно участвовал в испытаниях ядерного оружия, являясь одним из инициаторов их более широкого использования в интересах фундаментальных исследований. Это направление работ было оценено Государственной премией СССР в 1983 году.

Важным направлением деятельности А. И. Павловского было развитие предложенной А. Д. Сахаровым идеи магнитной кумуляции — сжатия магнитного потока направленным взрывом. Международной известностью пользуются созданные под руководством Александра Ивановича и при его непосредственном участии магнитокумулятивные генераторы сверхсильных импульсных магнитных полей и проведенные в этих полях физические исследования свойств различных веществ. Заслугой А. И. Павловского является разработка целого ряда компактных магнитокумулятивных мощных генераторов электрической энергии, а также сопряженных с ними сильноточных устройств (например, один из типов сильноточного размыкателя токового контура известен в литературе под названием «размыкателя Павловского»).

На основе созданной базы А. И. Павловский развернул широкомасштабные работы по разработке установок для проведения физических исследований, требующих больших затрат энергии. Одно из таких направлений — импульсные лазеры. Появились образцы твердотельных и фотодиссоциационных лазеров, мощных электроразрядных CO_2-лазеров, эксимерных лазеров, исследовались различные аспекты сильноточного газового разряда. Разрабатывались генераторы СВЧ-излучения, имитаторы электромагнитного воздействия молнии. В 1988 году А. И. Павловскому было присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники РФ».

Александр Иванович одним из первых начал налаживать связи с зарубежными учеными, участвовал в работе многих международных конференций, долгое время был членом международного оргкомитета регулярных конференций «Мегагаусс» по сильным магнитным полям и родственным экспериментам. В 1992 году Александр Иванович был избран академиком РАН. В 1999 году за высокие результаты, полученные на генераторах сверхсильных магнитных полей, ему присвоено звание лауреата Государственной премии (посмертно).

Из воспоминаний академика Ю. Б. Харитона: «Александр Иванович, в конечном счете, руководил самым крупным научным коллективом в институте, и совершенно блестящими были работы, проводившиеся в значительной мере по его идеям. Это один из физиков, которые известны во всем мире».

Член-корреспондент

САМУИЛ БОРИСОВИЧ КОРМЕР

(30 ноября 1922 г. — 10 августа 1982 г.)

Самуил Борисович Кормер родился 30 ноября 1922 года в г. Костюковичи Белорусской ССР. В период Великой Отечественной войны работал слесарем и фрезеровщиком по ремонту танков, был солдатом артиллерийского полка, затем слушателем Военно-инженерной артиллерийской академии им. Дзержинского, которую окончил в 1946 году и по распределению был направлен на оборонный завод. В Институте химической физики АН на семинаре, которым руководил Ю. Б. Харитон, сделал доклад о некоторых вопросах работы кумулятивных зарядов. Ю. Б. Харитон вспоминает: «Во время доклада стало ясно, что это очень толковый человек, и я включил его в список сотрудников будущего института».

Свою трудовую деятельность в КБ-11 С. Б. Кормер начал в секторе 3. Первые его работы относятся к физике высоких давлений и температур, в частности, к уравнению состояний вещества и его тепловым свойствам в области давлений 0,1–10 Мбар. Под его руководством были проведены уникальные экспериментальные исследования оптических свойств ударно-сжатых веществ и яркостной температуры вещества за фронтом сильных ударных волн в конденсированных средах. Большой цикл исследований С. Б. Кормера и его сотрудников был посвящен экспериментальному изучению изэнтропической сжимаемости водорода до рекордно высоких давлений и плотностей. Под руководством Самуила Борисовича в конце 50-х годов была экспериментально обоснована новая физическая схема ядерного заряда — заряда с термоядерным усилением. Во всех этих работах ярко проявились характерные черты стиля С. Б. Кормера как ученого и руководителя: чувство нового, четкость замысла исследования, стремление довести исследование до логического завершения, тщательность в проверке полученных результатов, огромная работоспособность.

Во многом благодаря этим качествам С. Б. Кормеру было поручено возглавить исследования в области лазерной физики и различных применений лазеров, которые были начаты во ВНИИЭФ с середины 60-х годов по инициативе Ю. Б. Харитона. Сначала эти работы проводились в отделе 24 сектора 3, а затем в секторе 13, организатором которого стал С. Б. Кормер. Он оставался руководителем сектора 13 до конца своей жизни.

Под руководством С. Б. Кормера был выполнен обширный круг расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, направленных на создание высокоэнергетичных лазерных систем различного типа, улучшение их пространственно-угловых характеристик методами линейной и нелинейной оптики, исследований взаимодействия лазерного излучения с материалами. Ряд параметров лазерного излучения, достигнутых С. Б. Кормером с коллегами, являются непревзойденными в мире и на сегодняшний день. Особое место среди этих работ занимает проблема лазерного термоядерного синтеза. В 1979 году была создана установка «Искра-4», на которой были получены первые в СССР термоядерные нейтроны и проведен обширный цикл экспериментальных исследований по облучению мишеней различных типов. С 1989 года и по настоящее время во ВНИИЭФ действует самый мощный в Европе лазер «Искра-5», на котором эти исследования были продолжены и расширены и получен ряд принципиально новых научных результатов.

Под руководством С. Б. Кормера во ВНИИЭФ создана и успешно работает научная школа в области лазерной физики и взаимодействия лазерного излучения с веществом, занимающая лидирующее положение в России и получившая признание во всем мире.

Член-корреспондент АН СССР С. Б. Кормер — лауреат Ленинской премии и трех Государственных премий, доктор физико-математических наук, профессор.

Академик

ВИКТОР НИКИТОВИЧ МИХАЙЛОВ

(12 февраля 1934 г.)

Свою научную деятельность Виктор Никитович Михайлов начал в Российском федеральном ядерном центре — ВНИИ экспериментальной физики в 1958 году после окончания МИФИ. Здесь он прошел школу академика Я. Б. Зельдовича и получил важные теоретические результаты, ставшие основой ряда направлений в конструировании ядерных и термоядерных зарядов.

В 1967 году за выдающиеся успехи в создании термоядерных зарядов с рекордными удельными характеристиками В. Н. Михайлов был удостоен звания лауреата Ленинской премии. В современных образцах термоядерных боеприпасов широко используются идеи, развитые В. Н. Михайловым при решении задач, связанных с преодолением системы ПРО.

В 1969 году В. Н. Михайлов был переведен в Москву, в НИИ импульсной техники. Более 20 лет Виктор Никитович принимал непосредственное участие в ядерных испытаниях, проводимых на Семипалатинском и Новоземельском полигонах, руководил сложнейшими из них.

Проведение в 1988 году совместного советско-американского эксперимента на Невадском и Семипалатинском ядерных полигонах (под научным руководством В. Н. Михайлова) позволило ввести в юридическое действие Договор 1974 года об ограничении подземных испытаний ядерного оружия.

В 1988 году В. Н. Михайлов стал заместителем министра среднего машиностроения по ядерно-оружейному комплексу. В начале 90-х годов, благодаря последовательной позиции В. Н. Михайлова, удалось отстоять единство атомной отрасли, и 20 января 1992 года было создано Министерство Российской Федерации по атомной энергии. Третьего марта 1992 года В. Н. Михайлов Указом Президента России назначается министром.

Ядерно-оружейная деятельность В. Н. Михайлова была отмечена двумя Государственными премиями (1982, 1997).

В 1992 году В. Н. Михайлов был назначен научным руководителем Российского федерального ядерного центра — Всероссийского научно-исследовательского института ядерной физики.

Важнейшим вкладом В. Н. Михайлова в обеспечение режима нераспространения, укрепление международной безопасности и стабильности явилась работа по выводу ядерных боеприпасов с территории Украины, Белоруссии и Казахстана и установлению безъядерного статуса этих государств, выполненная в начале 90-х годов.

По инициативе В. Н. Михайлова с 1992 года в России развернулись масштабные работы, направленные на усиление физической защиты, улучшение учета ядерных материалов и укрепление экспортного контроля, что обеспечило сохранность ядерно-опасных материалов в России.

В 1996 году В. Н. Михайлов был одним из ведущих организаторов Московской встречи восьми глав государств по ядерной безопасности. Встреча продемонстрировала высокий уровень безопасности ядерного оружия и атомной энергетики России.

В 1997 году В. Н. Михайлов внес решающий вклад в проведение регулярных неядерно-взрывных экспериментов на Центральном полигоне Российской Федерации в условиях ДВЗЯИ.

В 1997 году В. Н. Михайлов, минуя ступень члена-корреспондента, был избран академиком Российской Академии наук.

Для В. Н. Михайлова характерен уникальный сплав глубокой научной интуиции, деловой хватки и особого, патриотического подхода к решению многочисленных и сложнейших научных, организационных, дипломатических проблем, которые вставали на его пути. Творческий метод научного натиска был перенесен им и на административную деятельность, что глубоко символично проявилось в названии написанной им замечательной автобиографической книги «Я — Ястреб».

Указом Президента России в начале 1998 года В. Н. Михайлов, по его просьбе, был переведен на научную работу и является в данное время научным руководителем нашего института — Российского федерального ядерного центра — ВНИИ экспериментальной физики — и директором Института стратегической стабильности Росатома.

Академик

РАДИЙ ИВАНОВИЧ ИЛЬКАЕВ

(9 октября 1938 г.)

Радий Иванович Илькаев — выдающийся специалист в областях теоретической и экспериментальной ядерной физики, связанных с динамикой плазмы, термоядерными и нейтронно-ядерными процессами, взаимодействием излучения с веществом и лазерным термоядерным синтезом.

Практическая направленность его исследований относится к разработке ядерного и термоядерного оружия нашей страны. Под его руководством и при его личном определяющем участии создан целый ряд ядерных зарядов, являющихся основой современного ядерного арсенала России, созданы теоретические модели и получена уникальная экспериментальная информация о поведении вещества в области высоких плотностей энергии. Радий Иванович — создатель научных школ в областях бустинга и безопасности ядерного оружия.

Р. И. Илькаев поступил в теоретическое отделение ВНИИЭФ в 1961 году после окончания Ленинградского государственного университета. С работой в теоретическом отделении связаны его многие выдающиеся творческие достижения. После 1988 года он руководил конструкторским отделением, занимал посты первого заместителя главного конструктора и первого заместителя научного руководителя.

С 1996 года Р. И. Илькаев возглавляет наш институт: Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ экспериментальной физики, крупнейший ядерный центр России. В 2000 году Радий Иванович стал членом-корреспондентом РАН, а с 2003 года он — действительный член РАН.

За свои научно-технические достижения по укреплению национальной безопасности Р. И. Илькаев награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» III степени (2000), орденом Почета (2004), отмечен благодарностями Президента России (1998, 2003).

Ряд его выдающихся достижений, связанных с получением важнейших научно-технических результатов, отмечен Государственными премиями. В 1968 году премия была присуждена за создание нового метода диагностики параметров ядерного взрыва, в 1981 году — в связи с работами, явившимися ответом на американский «вызов нейтронной бомбы», в 1994 году — за создание уникального термоядерного заряда переменной мощности на основе нового принципа управления радиационной имплозией.

Р. И. Илькаев является выдающимся исследователем бустинга — процессов гидродинамического, радиационного и нейтронного взаимодействия гетерогенных и гомогенных сред «ядерной» и «термоядерной» плазмы, приводящих к «ядерному автокатализу».

Одной из основных характеристик первичных источников энергии в двухстадийных зарядах является удельный выход энергии для радиационной имплозии вторичного модуля, и Р. И. Илькаевым был предложен эффективный способ увеличения этой характеристики до рекордной величины. Для первичных источников он исследовал вопросы влияния асимметрии имплозии на особенности бустерного режима работы, на основе которых предложил способ улучшения условий бустера и повышения энерговыделения первичных источников. Этот способ получил широкое распространение при разработке многих типов первичных источников, лежащих в основе ядерного арсенала России.

Р. И. Илькаев является идеологом и организатором создания нового поколения мощных лазерных установок как уникальных средств моделирования термоядерных процессов. Под его руководством разработана концепция мощной лазерной установки нового поколения «Искра-6», практическая реализуемость которой продемонстрирована созданием ее модуля — лазерной установки «Луч».

Первостепенной характеристикой ядерных зарядов является их безопасность. На протяжении всей своей деятельности Р. И. Илькаев много и плодотворно работал в области обеспечения безопасности ядерного оружия. В рамках этой проблемы он проводил многочисленные расчетно-теоретические исследования, руководил анализом специальных газодинамических экспериментов, разработал постановку целого ряда натурных экспериментов.

Под руководством Р. И. Илькаева были разработаны новые меры повышения безопасности ядерных зарядов, которые предусматривали создание и внедрение в первичные источники специальных элементов и использование взрывчатых веществ повышенной безопасности. В последние годы Р. И. Илькаев много внимания уделяет развитию новых подходов в обеспечении гарантированной защиты ядерных зарядов и боеприпасов от несанкционированного применения.

Р. И. Илькаев является идеологом и руководителем развития мощного вычислительного комплекса РФЯЦ-ВНИИЭФ, занимающего лидирующие позиции в России, и создания современного программного обеспечения.

С начала 90-х годов Р. И. Илькаев руководит работой по реорганизации и адаптации деятельности РФЯЦ-ВНИИЭФ в новых условиях. Под его руководством проведена реструктуризация Федерального ядерного центра, в составе которого эффективно действует целая система научных институтов и КБ. Все эти организации, с одной стороны, работают над самостоятельными крупными научно-техническими проблемами, а с другой стороны, их усилия объединены для решения общих масштабных задач РФЯЦ-ВНИИЭФ, ставшего одним из крупнейших научно-технических центров мирового уровня.

20 АВГУСТА 1953 г., № 232 (12800)

ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЕ СООБЩЕНИЕ

об испытании водородной бомбы в Советском Союзе

На днях в Советском Союзе, в испытательных целях был произведён взрыв одного из видов водородной бомбы.

Вследствие осуществления в водородной бомбе мощной термоядерной реакции взрыв был большой силы. Испытание показало, что мощность водородной бомбы во много раз превосходит мощность атомных бомб.

Известно, что Советский Союз уже несколько лет как владеет атомным оружием и проводил соответствующие испытания этого оружия. Как сообщил на заседании Президиума Совета Министров СССР Г.М. Маленков 8 августа с.г. на 6-й сессии Верховного Совета, Советский Союз начал также создавать термоядерное водородное оружие.

[illegible]

Создание первых образцов советского термоядерного оружия. Работа в КБ-11 в середине 50-х годов

Горячее лето 1953 года

А. Д. Сахаров

Испытание первой советской водородной бомбы, которая имела индекс РДС-6с состоялось 12 августа 1953 года на Семипалатинском полигоне. В испытаниях подтвердились ожидаемые характеристики изделия, а также было определено воздействие взрыва на различную военную технику и сооружения. Успех испытания означал для СССР очень многое. Прежде всего то, что в создании самого мощного на Земле оружия наша страна не отстает от Соединенных Штатов Америки и даже опережает это сильное государство по ряду направлений. Анализируя впоследствии результаты нашего первого испытания, американский физик-теоретик Х. Бете писал: «Поразительно, что они (русские) смогли это осуществить... Достижением было и то, что была получена такая большая мощность без использования конфигурации Улама–Теллера. В то время мы не смогли бы это сделать...»

Успешное испытание стало следствием напряженной работы многих коллективов — ученых, инженеров, конструкторов, производственников — по всей стране. Она велась в соответствии с жесткими графиками, утвержденными на самом высоком уровне. Как и всегда, за ходом дел в ядерном комплексе страны пристально следили руководители самого высокого ранга, в том числе И. В. Сталин и Л. П. Берия. Смерть Сталина в марте 1953 года, арест и расстрел Берия летом того же года не изменили график подготовки и проведения всех от-

И. Е. Тамм

Ф. А. Франк-Каменецкий

М. В. Келдыш

ветственных и сложных работ, в том числе и испытания первого советского водородного изделия.

Осенью 1953-го высокие награды за выдающиеся достижения в науке и технике получили тысячи ученых, инженеров, конструкторов, рабочих, внесших существенный вклад в создание нового оружия. Среди них были и сотрудники КБ-11, всего 753 человека. Звание Героя Социалистического Труда получили главный конструктор КБ-11 Ю. Б. Харитон, его первый заместитель К. И. Щелкин, теоретики И. Е. Тамм, А. Д. Сахаров и Я. Б. Зельдович, начальник газодинамического сектора В. К. Боболев, начальник физико-экспериментального сектора В. А. Давиденко, начальник лаборатории Е. И. Забабахин, конструкторы Н. Л. Духов и В. Ф. Гречишников. Сталинские премии были присуждены И. Е. Тамму, А. Д. Сахарову, а также еще 33 сотрудникам. Кроме того, 18 человек получили орден Ленина, 125 — орден Трудового Красного Знамени, 104 — орден «Знак Почета», 6 — орден Красной Звезды. Пятистам сотрудникам КБ-11 вручили медали «За трудовую доблесть» и «За трудовое отличие».

Эти высокие награды венчали несколько лет напряженного труда значительных исследовательских и производственных коллективов страны, начиная с лета 1948 года. Первые же обращения советских ученых к изучению возможности термоядерной реакции датируются 1945 годом.

Немного истории

В 1945 году И. В. Курчатов по каналам разведки получил информацию об исследованиях по термоядерной проблеме, ведущихся в США. Там они были начаты по инициативе Э. Теллера в 1942 году. Его идеи оформлялись в обсуждениях с ведущими участниками Манхэттенского проекта и сложились в достаточно целостную концепцию к концу 1945 года. В ней водородная бомба называлась «классическим супером».

По заданию И. В. Курчатова в декабре 1945 года группа советских физиков под руководством Ю. Б. Харитона выполнила предварительный анализ возможностей создания термоядерного оружия. О результатах этой работы 17 декабря 1945 года доложил техническому совету, работавшему в то время при Спецкомитете, Я. Б. Зельдович. Вскоре небольшой коллектив сотрудников Института химической физики АН СССР (Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец и С. П. Дьяков) начал исследования одного из возможных вариантов развития термоядерной реакции. Этот вариант (РДС-6т) был выбран на основе данных разведки. Достаточно скупые, они, тем не менее, регулярно поступали в СССР в период работы над изделиями РДС-6т и РДС-6с. Информация о развитии американского термоядерного проекта постоянно анализировалась советскими физиками.

Интересно отметить, что в те годы проблема создания сверхмощной бомбы обсуждалась и в открытой печати. Так, 19 октября 1945 года английская газета «Таймс» опубликовала высказывания профессора Олифанта о возможности производства бомб с тротиловым эквивалентом (ТЭ) до 2 млн тонн. Несколько позже, в 1947-м, «Бюллетень ученых-атомщиков» поместил статью Э. Теллера по этой тематике, а 17 июля 1948 года в английском журнале появилась работа У. Дэвиса под названием «Сверхбомба возможна». Более того, попытки раскрыть секрет создания термоядерного оружия предпри-

нимали многие далекие от науки люди. Об этом, в частности, свидетельствует письмо польского гражданина, переданное в КБ-11 через органы разведки и ведомство Л. П. Берия.

Постоянно поступающая информация о «сверхбомбе» не могла не вызвать серьезную озабоченность у руководства СССР. Восьмого февраля 1948 года было принято Постановление СМ СССР «О работе КБ-11», в котором предусматривалось командирование Я. Б. Зельдовича на «объект». А спустя чуть более месяца, 13 марта того же года, К. Фукс встретился в Лондоне с А. С. Феклисовым и передал ему исключительно важные материалы по водородной бомбе (по всей видимости, это было достаточно полное изложение заявки на изобретение новой схемы классического супера, которую К. Фукс и Дж. фон Нейман подали 28 мая 1946 года). Появление этой информации и ее анализ, выполненный политическим руководством страны на основе экспертизы Б. Л. Ванникова, И. В. Курчатова и Ю. Б. Харитона, привели к тому, что И. В. Сталин 10 июня 1948 года утвердил мероприятия, призванные уже в течение года дать заключение о реальности создания водородной бомбы. Эти мероприятия были перечислены в Постановлении СМ СССР.

Начало проекта

В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР (Москва) была создана группа теоретиков под руководством И. Е. Тамма, ученого с мировым именем, человека большой души, исключительно честного и принципиального. В состав группы вошли А. Д. Сахаров, В. Л. Гинзбург, Ю. А. Романов, С. З. Беленький и Е. С. Фрадкин. Сахарову в мае 1948-го исполнилось 27 лет. Столь же молоды (от 24 до 32 лет) были и другие сотрудники группы И. Е. Тамма, только самому руководителю исполнилось к началу работ 52 года. Параллельно в Институте химической физики АН СССР была образована группа под руководством Н. Н. Боголюбова (В. Н. Климов, Д. В. Ширков). Физикам поручалось всесторонне исследовать возможности создания термоядерного оружия. Группе Тамма прежде всего нужно было проверить и уточнить исследования по варианту водородной бомбы, получившему неофициальное название «труба». Этими исследованиями занималась группа Зельдовича. Таким же путем двигались в то время американские физики. Как выяснилось позже, он оказался тупиковым.

Ни сам И. Е. Тамм, ни тем более его сотрудники не получили разрешения на работу с материалами

Л. В. Альтшулер, В. Л. Гинзбург и В. А. Цукерман. Саров, 50-е гг.

разведки. Однако это не помешало им выдвинуть новые идеи, которые позволили советским ученым достигнуть поставленной цели. Задача рассматривалась ими гораздо шире, чем просто проверка варианта «труба». Как писал А. Д. Сахаров в своих «Воспоминаниях», он, начав с изучения отчетов группы Я. Б. Зельдовича, написал «за несколько дней свой первый секретный отчет по этой тематике С1 (Сахаров, первый)». Этот отчет датируется 18 октября 1948 года и не связан с исследованиями, проводимыми Я. Б. Зельдовичем по тематике «супербомбы». В «Воспоминаниях» А. Д. Сахарова можно прочитать строки о том, что после двух месяцев работы в группе И. Е. Тамма он предложил «альтернативный проект термоядерного заряда, совершенно отличный от рассматривавшегося группой Зельдовича по происходящим при взрыве физическим процессам и даже по основному источнику энерговыделения».

«Первая идея» А. Д. Сахарова состояла в принципиально новой конструкции изделия (бомбы), названной «слойкой». Это предложение позволяло добиться значительного увеличения мощности взрыва без существенного наращивания габаритов ядерного заряда. Шестнадцатого ноября 1948 года И. Е. Тамм сообщил об этом результате в письме директору ФИАНа СССР С. И. Вавилову. По дате письма и можно судить о времени выдвижения «первой идеи».

Предложение Сахарова прекрасно согласовывалось со «второй идеей», высказанной В. Л. Гинзбургом, который предложил использовать в «слойке» дейтерид лития, обогащенный изотопом ^{6}Li. Свой первый отчет с изложением указанной идеи В. Л. Гинзбург выпустил 3 марта 1949 года, а в дальнейшем существенно развил ее. И. В. Курчатов правильно оценил большие перспективы применения ^{6}Li и

Приборы для сбора информации о параметрах взрыва

Размещение измерительной аппаратуры на полигоне

оперативно организовал его производство на одном из предприятий атомной отрасли. В результате Советский Союз первым применил его в испытаниях водородного оружия.

Летом 1949 года А. Д. Сахаров был командирован в КБ-11, где он ознакомился с результатами испытания первой советской атомной бомбы. После этого, как свидетельствует Ю. А. Романов, конструкция РДС-6с стала приобретать реалистические очертания.

Успешное испытание первой советской атомной бомбы 29 августа 1949 года было для американцев неожиданностью, на которую США отреагировали тем, что форсировали свою программу наращивания ядерных вооружений. Тридцать первого января 1950 года президент США Г. Трумэн заявил, что США будут «продолжать работу над всеми видами атомного оружия, включая так называемую водородную, или сверхбомбу». В план испытаний на 1951 год включалась модель «классического супера» (на основе патента К. Фукса–Дж. фон Неймана).

Работа над термоядерным проектом становилась все более приоритетным направлением для СССР.

Переезд на «объект». Выход на финишную прямую

Весной 1950 года почти вся группа Тамма (сначала А. Д. Сахаров и Ю. А. Романов, затем Игорь Евгеньевич) переезжает на «объект», в КБ-11, где работы развернулись с высокой степенью интенсивности и глубины. Этому способствовали не только результаты, полученные специалистами, но и политическая обстановка того времени. Постановление СМ СССР от 26 февраля 1950 года, ставшее ответом на заявление Г. Трумэна, предусматривало организацию в КБ-11 расчетно-теоретических, экспериментальных и конструкторских работ по созданию изделий РДС-6с («слойка») и РДС-6т («труба»). В постановлении указывались весьма жесткие сроки (предложения по конструкции полномасштабного изделия РДС-6с должны были быть представлены к октябрю 1952 года) и необходимость создания группы для работ по этому изделию в КБ-11. Так «таммовцы» (хотя и не все) оказались на «объекте».

Те, кто остался в Москве, не менее активно продолжали работу по новой тематике. Специальный пункт постановления обязывал С. И. Вавилова поручить В. Л. Гинзбургу, который не был направлен в КБ-11, выполнение теоретических работ по заданиям КБ-11 в ФИАНе СССР. Ю. А. Романов вспоминал, что «С. З. Беленький еще в 1949 году получил основополагающую формулу для явления перемешивания термоядерного горючего и урана. Этой формулой пользуются и сейчас».

Вскоре на «объект» приехала и группа Боголюбова. Группа Зельдовича прибыла в КБ-11 еще в 1948 году.

Исследованиями по термоядерной тематике занимались, кроме КБ-11, в нескольких научных центрах страны: в Москве, Ленинграде, Харькове. В частности, важное значение для обоснования характеристик РДС-6с имели работы, выполненные в Физическом институте АН СССР и Гидротехнической лаборатории АН СССР (теперь Объединенный институт ядерных исследований). Все эти многосторонние работы координировались из Москвы, из Первого главного управления, а также из НКВД, впоследствии Министерства внутренних дел.

Научным руководителем работ по созданию РДС-6с и РДС-6т был назначен Ю. Б. Харитон, его первым заместителем стал К. И. Щелкин, заместителем научного руководителя по РДС-6с – И. Е. Тамм, заместителем научного руководителя по расчетно-теоретической части РДС-6т – Я. Б. Зельдович. Заместителями научного руководителя по исследованиям ядерных процессов были назначены М. Г. Мещеряков и Г. Н. Флеров. Сотрудники КБ-11 (прежде всего Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович, И. Е. Тамм) неоднократно выезжали в Москву, где участвовали в обсуждениях, которые организовывал И. В. Курчатов, привлекая к ним крупнейших ученых страны.

В КБ-11 работы шли по нескольким направлениям, охватывая множество тем и задач. В расчетно-теоретических работах по РДС-6с непосредственно участвовали Е. И. Забабахин, В. П. Феодоритов, Д. А. Франк-Каменецкий. Успехам способствовали активность и талант других сотрудников, в числе которых следует назвать в первую очередь В. С. Владимирова, Г. М. Гандельмана и Н. А. Дмитриева.

При этом продолжались исследования группы Зельдовича (Ф. А. Франк-Каменецкий, Г. М. Гандельман, Н. А. Дмитриев, В. Б. Адамский) по варианту «труба» – РДС-6т. Результаты этих работ имели большое значение и для группы Тамма.

К 1952 году перспективность направления, предложенного группой Тамма («первая» и «вторая» идеи), стала очевидной. Работы вступили в завершающую фазу. Интенсивно велись эксперименты по изучению кинетики нейтронных процессов в сложных сборках, имитирующих конструкцию «слойки». По этой тематике работали сотрудники КБ-11 (Ю. А. Зысин, А. И. Павловский) и ФИАНа (И. М. Франк, И. Я. Барит), а также Дубны (И. С. Погребов при активном участии В. А. Давиденко).

В. А. Давиденко в 1952 году возглавил физико-экспериментальный сектор (сектор № 4) в КБ-11. Объем работы, порученной этому подразделению, был очень значителен.

Велика была роль гидродинамических экспериментов с моделями РДС-6с, проведенных в КБ-11.

Разработка водородного оружия требовала сложнейших расчетов. Для решения задач математической физики, связанных с этой проблемой, в конце 40-х годов был создан ряд научных групп, разрабатывавших численные методы. Проведение расчетных работ по заданиям КБ-11, связанным с разработкой РДС-6с, возлагалось на Математический институт АН СССР (под руководством И. М. Виноградова и И. Г. Петровского) и Институт теоретической геофизики АН СССР (директор А. Н. Тихонов). Тогда самой быстродействующей машиной, которая использовалась для необычайно объемных расчетов, была клавишная машинка фирмы «Мерседес», полученная из Германии по репарации. Конкретные расчеты проводились большими группами девушек-вычислителей, и календарные сроки каждого расчета были достаточно велики – от недель до полугода. Важнейшее значение имели расчеты энерговыделения РДС-6с, выполненные в математическом бюро А. Н. Тихонова. Большой творческий вклад в проведение этих расчетов, схема которых была составлена на основании физических заданий А. Д. Сахарова и Ю. А. Романова, внесли А. А. Самарский, В. Я. Гольдин, Н. Н. Яненко, Б. Л. Рождественский.

В постановке, проведении и анализе результатов газодинамических расчетов РДС-6с велика была роль Я. Б. Зельдовича, Е. И. Забабахина, К. А. Семендяева и А. И. Жукова.

Подготовка аппаратуры для проведения испытаний. Семипалатинский полигон

На испытательном поле были построены различные здания и защитные сооружения, размещены образцы техники

В 1953 году заработала первая отечественная ЭВМ «Стрела», на которой под руководством Тихонова и Семендяева выполнялись расчеты «слойки». По их результатам отбраковывались те или иные схемы конструкций и существенно корректировались первоначальные оценки. Для определения численных значений множества параметров, определяющих развитие термоядерной реакции, была привлечена группа теоретиков, сотрудников Института физических проблем. Возглавлял группу академик Л. Д. Ландау. Его отчеты по материалам, присланным из КБ-11, регулярно поступали И. В. Курчатову, а затем – в распоряжение Ю. Б. Харитона.

Когда успехи теоретических проработок и экспериментов по определению важнейших параметров изделия уже не вызывали сомнений, активную деятельность развернули конструкторы. Первоначально предполагалось испытывать РДС-6с в виде бомбы, сброшенной с самолета, поэтому в КБ-11 разработали корпус для авиационного варианта. Особое значение имели работы технологов, связанные с изготовлением деталей слоев термоядерного горючего и решением при этом проблем, обусловленных применением в модели РДС-6с трития.

Необходимы были новые методики измерений, приборы для них. Этими задачами также занимались в КБ-11.

Несмотря на успешный ход работ по РДС-6с, в 1951 году стало ясно, что проведение испытания этого изделия в 1952 году нереально. Новый срок готовности РДС-6с к испытаниям назначался правительством в очередном постановлении на март 1953 года. Небольшое отклонение и от этой даты было непринципиальным. Пятнадцатого июня 1953 года И. Е. Тамм, А. Д. Сахаров и Я. Б. Зельдович подписали заключительный отчет о разработке РДС-6с. Началась подготовка к его испытаниям на Семипалатинском полигоне (Казахстан).

Испытание

На Семипалатинском полигоне широким фронтом шла подготовка опытного поля – участка, где располагались различные сооружения, постройки, техника и другие объекты, на которых было необходимо изучить разные аспекты воздействия взрыва.

Как указано в отчете, представленном военными экспертами сразу после испытаний, на опытном поле возвели в общей сложности 190 различных сооружений, стендов и отдельных конструктивных элементов. В их числе были:

– 16 промышленных и гражданских сооружений;
– 66 различных фортификационных сооружений;
– 38 приборных сооружений;
– 70 испытательных стендов и различных конструктивных элементов;
– 16 самолетов;
– 7 танков;
– 17 орудий и минометов.

Все эти «участники испытаний» располагались на расстоянии от 250 до 7000 метров от центра опытного поля, т. е. от места расположения изделия.

Испытание преследовало не только военные цели, оно должно было дать важный материал для дальнейшего развития термо-

ядерного проекта в СССР. Поэтому приборная база испытателей, различные устройства и стенды размещались на поле с особым вниманием и тщательностью. Подрыв РДС-6с предполагалось осуществить дистанционно, подачей сигнала с пульта, находившегося в бункере, который размещался в 10 км от подготовленного к испытанию изделия.

Согласно данным метеорологов, радиоактивное облако взрыва могло накрыть достаточно большие территории к юго-западу от опытного поля, поэтому были предприняты значительные усилия по защите населения от последствий испытания: отселение (переезд на другое место жительства) и временная эвакуация. Из двух районов сельской местности, куда вернуться можно было только через длительное время, отселили 2253 человека и вывели 6635 голов крупного и 37433 мелкого рогатого скота. Из той местности, где радиационная опасность носила менее серьезный характер, временно эвакуировали 12794 человека, а также большое количество скота. Эвакуация проводилась с участием 1068 человек, использовалось 620 автомобилей, из которых 323 предоставило Министерство среднего машиностроения (личное распоряжение министра В. А. Малышева). Уровень радиоактивного заражения местности поверялся дозиметрическими постами с необходимой аппаратурой.

Заряд РДС-6с взорван

Последствия взрыва

Мнения и впечатления

Сигнал на подрыв изделия был подан в 7.30 утра 12 августа 1953 года. Горизонт озарила ярчайшая вспышка, которая слепила глаза даже через темные очки. Необычные явления, сопутствующие развитию взрыва, многие наблюдатели фиксировали очень тщательно, а затем передали свои записи И. В. Курчатову. Вот что зафиксировали участники испытаний:

«Явление наблюдал 12 августа с. г. с аэродрома в пункте «М», в 65 км от места взрыва. Ровно в 7 ч 30 мин. утра на горизонте в стороне «Поля» вспыхнул яркий белый ослепительный свет, который, несмотря на затемненные очки, заставил меня на миг закрыть глаза. Ослепительная вспышка мгновенно превратилась в огромную, бушующую, с каждой секундой увеличивающуюся на горизонте огненную массу»;

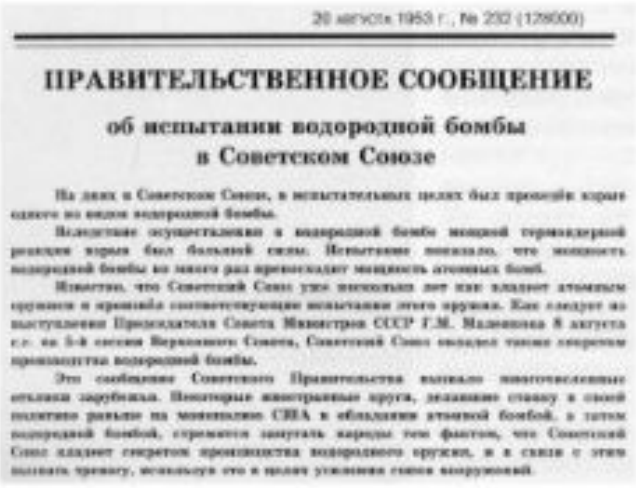
«...Высоко над горизонтом появился шар красно-оранжевого цвета, который взорвался, и на его месте образовалось плотное белое облако, имеющее форму гриба, которое, однако, в вершине сравнительно долго (около 15-20 минут) сохраняло оранжевую окраску.

Далее это облако стало менять свою форму под действием ветра и скрылось за тучами в 12 часов в юго-западном направлении»;

«...Огненный полушар всплыл, образуя светящуюся головку «гриба» на толстой темной ножке. Головка гриба, расширяясь, плавно поднималась, ножка при этом утоньшалась, особенно в верхней своей части, примыкающей к головке; головка быстро гасла и стала темной... Резко бросалось в глаза быстрое движение во всей массе облака...»;

«...На верхней части головки появилось белое облако, а из верхней части ножки (пылевого столба), примыкающей к головке, начало формироваться облако в виде расширяющегося вниз конуса (юбки)...»;

«...Общее впечатление от взрыва очень сильное. В боевых условиях, несомненно, взрыв морально подействует на людей, которые будут его наблюдать со стороны»;



20 августа 1953 г., № 232 (12600)

ПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЕ СООБЩЕНИЕ

об испытании водородной бомбы в Советском Союзе

На днях в Советском Союзе, в испытательных целях был произведён взрыв одного из видов водородной бомбы.

Вследствие осуществления в водородной бомбе мощной термоядерной реакции взрыв был большой силы. Испытание показало, что мощность водородной бомбы во много раз превосходит мощность атомных бомб.

Известно, что Советский Союз уже несколько лет как владеет атомным оружием и хранит соответствующие испытания этого оружия. Как следует из выступления Председателя Совета Министров СССР Г.М. Маленкова 8 августа с.г. на 5-й сессии Верховного Совета, Советский Союз овладел тайнами секретом производства водородной бомбы.

Это сообщение Советского Правительства вызвало многочисленные отклики зарубежья. Некоторые иностранные круги, делающие ставку в своей политике раньше на монополию США в обладании атомной бомбой, а затем водородной бомбой, стремятся запугать народы тем фактом, что Советский Союз владеет секретом производства водородного оружия, и в связи с этим поднять тревогу, используя это в целях усиления гонки вооружений.

«...В жизни я много видел разрывов и взрывов, но этот не имеет с ними ничего общего и не может с чем-либо быть сравним. Незабываемы также мои впечатления о тех разрушениях на значительных расстояниях от эпицентра взрыва, которые я наблюдал, объезжая полигон после события. В конечном счете нельзя не сказать о своем впечатлении радости и гордости за наших советских людей, создавших это грандиозное оружие. Велико наше счастье, что мы не дали американцам долго оставаться монополистами этого средства...» (из докладных записок инженера И. Мукосеева, майора В. Пастухова, академика М. Лаврентьева, генерал-лейтенантов С. Рогинского и С. Рождественского).

Наблюдения результатов взрыва производились регулярными выездами на опытное поле, первый из которых состоялся уже 12 августа. На основании выполненных наблюдений можно было сделать выводы о необычайно высокой мощности взрыва. Эти данные были подтверждены физическими измерениями. Изделие РДС-6с имело мощность 400 килотонн (в тротиловом эквиваленте), т. е. в 20 раз превосходило по этому показателю первую атомную бомбу. В. А. Давиденко писал 17 августа 1953 года в записке на имя И. В. Курчатова: «Общее впечатление такое, что наземные сооружения и военная техника выводятся из строя в радиусе до 2 км, а самолеты – до 4-5 км...»

Итоги важного периода

Главное значение разработки и испытания РДС-6с состоит в проведении большого объема ядерно-физических лабораторных экспериментов, позволивших внести ясность в описание процессов термоядерного взрыва, и создании математических методов расчета этого сложнейшего явления. Тот факт, что при испытании РДС-6с впервые было использовано сухое ядерное горючее, также сыграл основополагающую роль в развитии термоядерных вооружений. Созданная в связи с разработкой РДС-6с научная и технологическая база позволила в очень короткие сроки подготовить и испытать термоядерный бинарный заряд РДС-37, тот, который лег в основу всего оборонного ядерного щита СССР и России.

Следующий шаг

Успех испытания 12 августа 1953 года привел, в числе прочих последствий, и к тому, что 20 ноября того же года СМ СССР принял постановление о разработке «нового типа мощной водородной бомбы». В документе имелся в виду вариант РДС-6с (он получил обозначение РДС-6сД), который вначале представлялся исследователям весьма перспективным. Об этих перспективах А. Д. Сахаров сообщил в докладной, направленной министру отрасли. Однако физиками быстро был получен вывод об ошибочности сделанного заключения. Вот что пишет А. Д. Сахаров в своих «Воспоминаниях»: «Уже в первые месяцы нового, 1954 года, нам, теоретикам «объекта», стало ясно, что мои предложения, легшие в основу докладной, не обещают ничего хорошего. Первоначально я возлагал особые надежды на некоторые «экзотические» (назовем их условно так) особенности предложенной конструкции. Но первые же оценки показали, что даже в завышающих предположениях эти особенности лишь очень немного увеличивают мощность. При этом они были крайне неудобны конструктивно и очень ограничивали возможности применения изделий этого типа. Мы приняли решение ликвидировать всю эту экзотику. После этой операции стало окончательно ясно, что изделие малообещающее! Расчеты нескольких вариантов, проведенные в Москве по нашим заданиям, неизменно приводили к близким между собой и низким, по сравнению с желаемыми, значениям мощности».

В конце 1953 года совместными усилиями физиков КБ-11 (группа Я. Б. Зельдовича) и московских ученых (И. Е. Тамм, И. Я. Померанчук, Д. И. Блохинцев) был сделан вывод о бесперспективности работ по «трубе» (РДС-6т). В задачах, сформулированных для КБ-11 на 1954 год, это направление уже не значилось. Отказ от вариантов, которые не обещали необходимых результатов, не привел, однако, к быстрому успеху в создании принципиально новой конструкции, получившей впоследствии индекс «РДС-37».

Этому есть объективные (и, возможно, субъективные) причины. В самых общих чертах «третью идею», то есть предположение о возможности создать сверхмощную бомбу путем обжатия «слойки» дополнительным атомным взрывом, А. Д. Сахаров сформулировал еще в начале 1949 года. Но создание этой новой двухступенчатой конструкции термоядерного заряда потребовало более пяти лет.

Напомним, что среди материалов, переданных К. Фуксом нашей разведке в 1948 году, имелось конкретное описание схемы и параметров «классического супера», так американцы называли термоядерный заряд, над которым работали (под руководством Э. Теллера) с 1942 года. В этих материалах предлагалась новая, по сравнению с проектом 1945 года, также переданным К. Фуксом в СССР, система инициирования, суть которой состояла в использовании явления радиационной имплозии. Таким образом, в материалах К. Фукса был сформулирован впервые в истории один из важнейших принципов создания двухступенчатой конструкции термоядерного заряда. Как указывает Г. А. Гончаров, Клауса Фукса можно считать автором этой принципиально новой физической схемы. Она была предложена им весной 1946 года, соавтором являлся Дж. фон Нейман. Воспользоваться этой очень содержательной схемой в конце 40-х годов не смогли ни в США, ни в СССР. Для ее реализации требовалось глубоко разобраться в ряде сложнейших физических процессов. Такое понимание, в свою очередь, не могло произойти без проведения математических расчетов огромных объемов и трудности. Тогда еще не были созданы необходимые методы математического моделирования, а в СССР не имелось и вычислительной техники, которые позволили бы с должной точностью обсчитать физические модели явления. Кроме того, в СССР круг лиц, допущенных к знакомству со строго засекреченными материалами К. Фукса 1948 года, был очень ограничен. Поэтому о развитии «мозгового штурма», который (как показало будущее) вполне мог бы привести к успеху, говорить не приходилось.

Так или иначе, после испытания 1953 года к новой идее, которая легла в основу современного термоядерного оружия, советские физики пришли не сразу. Но в памяти всех участников работ сохранился внезапный характер ее появления. Она связана прежде всего с именами Я. Б. Зельдовича и А. Д. Сахарова. Андрей Дмитриевич своими теоретическими построениями строго обосновал реальность создания нового заряда, о чем в 1991-м вспоминал его соратник Ю. А. Романов, называя Сахарова «отцом водородной бомбы». А вот что писал участник работ над первым советским двухступенчатым зарядом РДС-37 физик-теоретик Л. П. Феоктистов: «Внезапно появились, как свет в темном царстве, новые идеи, и стало ясно, что наступил «момент истины». Молва приписывала эти основополагающие мысли в духе Теллера то Я. Б. Зельдовичу, то А. Д. Сахарову, то обоим, то еще кому-то, но всегда в какой-то неопределенной форме: вроде бы, кажется и т. п. К тому времени я был хорошо знаком с Я. Б. Зельдовичем. Но ни разу не слышал от него прямого подтверждения на этот счет (как, впрочем, и непосредственно от А. Д. Сахарова)».

Следует отметить и большую роль, которую сыграл в выработке «третьей идеи» А. Д. Франк-Каменецкий.

Сам А. Д. Сахаров в своих «Воспоминаниях» описывал этот прорыв к истине в таких сдержанных словах: «По-видимому, к «третьей идее» одновременно пришли несколько сотрудников наших теоретических отделов. Одним из них был и я. Мне кажется, что я уже на ранней стадии понимал основные физические и математические аспекты «третьей идеи». В силу этого, а также благодаря моему ранее приобретенному авторитету, моя роль в принятии и осуществлении «третьей идеи», возможно, была одной из решающих. Но также, несомненно, очень велика была роль Зельдовича, Трутнева и некоторых других, и, быть может, они понимали и предугадывали перспективы и трудности «третьей идеи» не меньше, чем я. В то время нам (мне, во всяком случае) некогда было думать о вопросах приоритета, тем более, что это было бы «дележкой шкуры неубитого медведя», а задним числом восстановить все детали обсуждений невозможно, да и надо ли?..»

Как бы то ни было, ясно и четко сформулированный новый принцип разработки термоядерных зарядов стал мощным импульсом для проведения

Дом А. Д. Сахарова

необходимых стране прикладных исследований и работ в области физики высоких давлений и температур. Дальнейшие события развивались стремительно и бурно, коллектив теоретиков работал над новым изделием с огромным энтузиазмом. Между тем эта работа выпадала из планов, утвержденных на самом высоком государственном уровне. В них первое место по-прежнему занимал вариант «усовершенствованного» изделия РДС-6с, который уже назывался классическим. Из воспоминаний А. Д. Сахарова: «Так или иначе, с весны 1954 года основное место в работе теоретических отделов — Зельдовича и (после отъезда Тамма) моего — заняла «третья идея». Работы же по «классическому» изделию велись с гораздо меньшей затратой сил и, особенно, интеллекта. Мы были убеждены в том, что в конце концов такая стратегия будет оправдана, хотя понимали, что вступаем в область, полную опасностей и неожиданностей. Вести работы по «классическому» изделию в полную силу и одновременно быстро двигаться в новом направлении было невозможно. Силы наши были ограничены, да мы и не видели в старом направлении точки приложения сил. Вскоре аналогичный крен возник и в других секторах «объекта» — у конструкторов, газодинамиков и некоторых других... Юлий Борисович Харитон, доверяя теоретикам и уверовав сам в новое направление, принял на себя большую ответственность, санкционировав переориентацию работы «объекта» и ведущихся по его заданию расчетных работ в Москве. В курсе событий был также Курчатов. Вскоре в министерстве поняли, что происходит. Формально то, что мы делали (хотя и не афишировали) было вопиющим самоуправством. Ведь постановление правительства обязывало нас делать классическое изделие и ничего более».

24 июня 1954 года А. С. Александров (он возглавлял тогда КБ-11), Ю. Б. Харитон, К. И. Щелкин, А. Д. Сахаров и Я. Б. Зельдович направили на имя министра отрасли В. А. Малышева письмо, в котором отметили, что по его поручению в КБ-11 были рассмотрены различные возможности создания мощных водородных бомб и что в результате рассмотрения выявилась принципиальная возможность создания транспортабельных весьма мощных и исключительно экономичных бомб на основе атомного обжатия. Авторы письма подчеркивали, что в настоящее время еще не имеется ни окончательной схемы бомбы, ни сколько-нибудь точных расчетов, и перечисляли меры, которые должны быть приняты для обеспечения производства таких бомб в будущем. Судя по дальнейшим событиям, это письмо и, вероятно, другая информация о состоянии работ КБ-11 сильно встревожили В. А. Малышева. Он в сопровождении ведущих специалистов отрасли, среди которых был и И. В. Курчатов, приехал на «объект», где собрался совет по материалам письма физиков КБ-11. Волнений и споров было много, но ученые «объекта» не сдавали позиций, будучи уверены в перспективности своих предложений. Их позицию поддержал и И. В. Курчатов. А. Д. Сахаров писал в своих «Воспоминаниях»: «Хотя часть своих сил теоретики вынуждены были отвлекать на работы по РДС-6сД, основное внимание после заседания совета по-прежнему уделялось конструированию и расчетно-теоретическому обоснованию термоядерной бомбы на принципе атомного обжатия... На нашу сторону решительно встал Курчатов».

Хотя обсуждения целесообразности работ в КБ-11 над новым изделием продолжались на высоком уровне, физики, не оставляя своих намерений, быстро продвигались к успеху. В отчете о работах теоретического сектора № 1, подписанном 06.08.54 А. Д. Сахаровым и Ю. А. Романовым, были сформулированы основные вопросы, связанные с «третьей идеей». Указывалось, что принципы работы изделия «выработаны в результате коллективной работы секторов № 2 и № 1 (Я. Б. Зельдович, Ю. А. Трутнев, А. Д. Сахаров)».

Третьего февраля 1955 года было выпущено техническое задание на конструкцию опытного образца бомбы РДС-37 для испытания в 1955 году. К этому времени определяющий этап расчетно-теоретических работ завершился. Однако они, как и уточнение конструкции заряда, продолжались вплоть до окончательной сборки и отправки изделия на полигон.

Как пишет Г. А. Гончаров, «Президиум ЦК КПСС на своем заседании 16 февраля 1955 года одобрил предложение Министерства среднего машиностроения о разработке водородной бомбы на новом принципе и обязал В. А. Малышева утвердить план первоочередных работ по ее созданию. К 1 июля 1955 года в Совет министров СССР должны были быть представлены предложения о проведении полномасштабного испытания модели новой водородной бомбы». Проведение расчетно-теоретических работ по новой бомбе по заданиям КБ-11 было возложено на отделение прикладной математики Математического института АН СССР им. Стеклова, которое возглавлял М. В. Келдыш.

25 февраля 1955 года на должность министра среднего машиностроения вместо В. А. Малышева был назначен А. П. Завенягин, который 2 марта 1955 года утвердил план завершающих работ по созданию новой водородной бомбы. 25 июня 1955 года был выпущен отчет, посвященный выбору конструкции и расчетно-

теоретическому обоснованию опытной двухступенчатой водородной бомбы на принципе радиационной имплозии РДС-37. Текст отчета писали Я. Б. Зельдович и А. Д. Сахаров. На титульном листе, кроме их имен, стояли фамилии основных разработчиков (в алфавитном порядке): Е. Н. Аврорин, В. А. Александров, Ю. Н. Бабаев, Г. А. Гончаров, В. Н. Климов, Г. Е. Клинишов, Б. Н. Козлов, Е. С. Павловский, Е. М. Рабинович, Ю. А. Романов, Ю. А. Трутнев, В. П. Феодоритов, М. П. Шумаев. Еще 16 физиков-теоретиков принимали участие в разработке темы. Их фамилии также указывались: В. Б. Адамский, Б. Д. Бондаренко, Ю. С. Вахромеев, Г. М. Гандельман, Г. А. Дворовенко, Н. А. Дмитриев, Е. И. Забабахин, В. Г. Зарафов, Т. Д. Кузнецова, И. А. Курилов, Н. А. Попов, В. И. Ритус, В. Н. Родигин, Л. П. Феоктистов, Д. А. Франк-Каменецкий, М. Д. Чуразов. Во введении к отчету отмечалось, что разработка нового принципа, положенного в основу конструкции РДС-37, проводится в теоретических секторах КБ-11 начиная с 1950 года и «...является одним из ярких примеров коллективного творчества. Одни давали идеи (идей потребовалось много, и некоторые из них независимо выдвигались несколькими авторами). Другие более отличились в выработке методов расчета и выяснения значения различных физических процессов. В длинном списке участников разработки, приведенном на титульном листе, существенной оказалась роль каждого. В обсуждении проблемы на ранней стадии (1952 год) весьма плодотворным было участие В. А. Давиденко». Также было подчеркнуто, что разработка опытного заряда РДС-37 потребовала больших конструкторских, экспериментальных и технологических работ и назывались имена многих их участников. В отчете названы и руководители больших коллективов математиков, внесших неоценимый вклад в расчетно-теоретическое обоснование РДС-37. Это И. А. Адамская, А. А. Бунатян, И. М. Гельфанд, А. А. Самарский, К. А. Семендяев, И. М. Халатников. Вся разработка велась под руководством научного руководителя и главного конструктора КБ-11 Ю. Б. Харитона. Общее руководство математическими расчетами, которые проводились в основном в отделении прикладной математики Математического института АН СССР, осуществляли М. В. Келдыш и А. Н. Тихонов.

В конце июня 1955 года результаты расчетно-теоретического обоснования РДС-37 были рассмотрены комиссией в составе В. Л. Гинзбурга, Я. Б. Зельдовича, М. В. Келдыша, М. А. Леонтовича, А. Д. Сахарова, И. М. Халатникова и председателя комиссии И. Е. Тамма. В докладе, подводящем итоги рассмотрения, комиссия указывала, что новый принцип открывает совершенно новые возможности в области конструирования термоядерного оружия. Детально рассмотрев состояние расчетно-теоретических работ по предложенной КБ-11 конструкции бомбы РДС-37, комиссия подтвердила целесообразность ее полигонного испытания. Однако построения физической модели и проведения расчетов недостаточно для создания реального изделия. Оно должно быть воплощено в деталях и конструкциях, которые произведут и соберут рабочие из указанных технологами материалов. А поскольку в планах, заранее составленных на 1955 год, отсутствовало наименование «РДС-37», то нужных для изготовления нового заряда материалов в достаточном количестве не имелось. Эта прозаическая сторона работ могла свести на нет все усилия создателей РДС-37.

Обратимся вновь к воспоминаниям А. Д. Сахарова: «Весной или летом 1955 года мы пришли к выводу, что в изделии, основанном на «третьей идее», целесообразно использовать некий новый вид материала. Обычно организация нового производства занимает очень много времени. Я решил обратиться с просьбой о содействии к новому начальнику «объекта» Б. Г. Музрукову... Музруков был очень колоритной и значительной фигурой – один из наиболее крупных организаторов промышленности, с которыми я сталкивался...

Музруков принял меня в своем рабочем кабинете. Первые несколько минут он держался подчеркнуто официально. Но по мере того, как я говорил, лицо Бориса Глебовича менялось – холодная, почти высокомерная маска сменилась выражением почти детского азарта. Он достал из сейфа блокнот и попросил меня записать кратко обоснование моих требований и примерные технические условия. Я тут же написал несколько страниц, он их прочитал и, не говоря ни слова, набрал номер ВЧ. Обращаясь по имени-отчеству (и на «ты») к директору далекого от нас завода, он попросил его подготовить производственную линию для выполнения задания, суть которого он тут же изложил. На вопрос собеседника о плане он сказал:

– Постарайся уложиться. Не сумеешь – будем тебя выручать. В любом случае новая продукция пойдет в счет плана.

Я поблагодарил Музрукова. Дело было сделано».

КБ-11 к 1955 году уже обладало мощными резервами для решения сложных задач в кратчайшие сроки. Директор Б. Г. Музруков, пришедший на «объект» летом этого года, добавил к этим чертам, характерным для производствен-

Подготовка РДС-37 к погрузке в самолет

Самолет Ту-16, доставивший бомбу к месту взрыва

На испытательном поле объекты для проверки воздействия на них факторов ядерного взрыва

ного процесса в КБ-11, свои способности организатора и богатейшие связи с производственниками по всей стране. Сахаров говорит в своих «Воспоминаниях», указывая на быстроту решения проблем по РДС-37: «Столь же оперативно решались тогда и другие вопросы подготовки к испытаниям».

На полигоне

В плане испытаний на осень 1955-го стояло не только изделие, созданное на основе «третьей идеи». Сначала, 6 ноября, на Семипалатинском полигоне было проведено испытание одноступенчатого термоядерного заряда РДС-27, являвшегося модификацией заряда РДС-6с. В конструкции РДС-27 отсутствовал тритий, что улучшило эксплуатационные характеристики заряда, но привело к уменьшению тротилового эквивалента в ожидавшихся пределах. Заряд был оформлен как авиационная бомба и сброшен при испытании с самолета.

22 ноября 1955 года на высоте 1550 м над Семипалатинским полигоном как бомба, сброшенная с самолета ТУ-16, было подорвано изделие РДС-37. Мощность взрыва составила 1,7 Мт тротилового эквивалента (ТЭ). Мощность заряда РДС-37 в полномасштабном исполнении превысила бы 3 млн тонн ТЭ.

Воспоминания А. Д. Сахарова содержат фрагмент, относящийся к этому событию, организатором и участником которого он был: «Испытание изделия, в котором впервые была применена «третья идея», состоялось 22 ноября 1955 года... Я увидел быстро расширяющийся над горизонтом ослепительный бело-желтый круг, и какие-то доли секунды он стал оранжевым, потом ярко-красным; коснувшись линии горизонта, круг сплющился снизу. Затем все заволокли поднявшиеся клубы пыли, из которых стало подниматься огромное клубящееся серо-белое облако с багровыми огненными проблесками по всей его поверхности. Между облаком и клубящейся пылью стала образовываться ножка атомно-термоядерного гриба. Она была еще более толстой, чем при первом термоядерном испытании (1953 года)...

Я ощутил на своем лице тепло, как от распахнутой печки, это на морозе, на расстоянии многих десятков километров от точки взрыва. Вся эта феерия разворачивалась в полной тишине. Прошло несколько минут. Вдруг вдали на простиравшемся перед нами до горизонта поле показался след ударной волны. Волна шла на нас..., ударила по ушам, толкнула, но все, кроме «секретаря» на помосте, остались на ногах; он упал и получил незначительные ушибы. Волна ушла дальше, и до нас донесся треск, грохот и звон разбиваемых стекол. Зельдович подбежал ко мне с криком:

– Вышло! Вышло! Все получилось! – и стал обнимать.

Конечно, мы все понимали огромное военно-техническое значение проведенного испытания. По существу, им была решена задача создания ядерного оружия с высокими характеристиками».

Завершение и начало

День 22 ноября 1955 года ознаменовался блестящим достижением советской термоядерной программы. По словам А. Д. Сахарова,

«испытание было завершением многолетних усилий, триумфом, открывавшим пути к разработке целой гаммы изделий с разнообразными высокими характеристиками (хотя при этом встретятся еще не раз неожиданные трудности)». Советский Союз уверенно вступил в эпоху создания термоядерных вооружений. Испытание РДС-37 было заключительным испытанием 1955 года. Оно явилось 24-м в ходе осуществления программы ядерных испытаний СССР. Общее число ядерных испытаний США к концу 1955 года достигло 67. Впереди у разработчиков термоядерного оружия СССР были годы напряженной работы, которые привели к поразительному прогрессу в характеристиках термоядерных зарядов по сравнению с уровнем 1955 года.

Работа продолжается

Первая половина и середина 50-х годов прошлого века были для КБ-11 периодом необыкновенно интенсивной работы, колоссального напряжения сил больших коллективов, решения в короткий срок задач огромной важности. Среди них нужно отметить создание артиллерийского снаряда с атомным зарядом (1953–1956 годы). Этой разработкой руководил академик М. А. Лаврентьев, приглашенный в КБ-11.

В 1952 году появилась необходимость в создании отечественного артиллерийского снаряда с ядерным зарядом как ответ на появление американских вооружений этого типа. Они начали разрабатываться Соединенными Штатами в начале 50-х, в мае 1953-го были впервые испытаны и вскоре размещены в Европе. Советский Союз был вынужден принимать адекватные меры. В КБ-11 началась проработка первых вариантов заряда для артснаряда. А 12 января 1953 года в Первое главное управление из КБ-11 ушло письмо, подписанное начальником КБ-11 Анатолием Сергеевичем Александровым, научным руководителем Юлием Борисовичем Харитоном и его заместителями Кириллом Ивановичем Щелкиным и Алексеем Антоновичем Ильюшиным. В письме, после описания задачи и перечисления сложностей ее решения, говорилось: «Подходящей кандидатурой для руководства указанной работой является академик Лаврентьев М. А., крупный специалист по гидро- и газодинамике, выдающийся математик, хорошо владеющий современной машинной вычислительной техникой, основатель теории кумулятивных снарядов и известный специалист по применению взрывчатых веществ. Просим перевести товарища Лаврентьева М. А. в КБ-11 с тем, чтобы он возглавил работу по исследованию обжатия с помощью осесимметричных систем, в первую очередь, применительно к артиллерийским вариантам. Привлечение т. Лаврентьева М. А. в качестве руководящего работника КБ-11 будет весьма важно как для успешного развития новых работ, так и вообще для укрепления научного руководства в КБ-11».

Последствия взрыва 22 ноября 1955 года

Пожелание руководства КБ-11 было выполнено, академик Лаврентьев прибыл на «объект» и возглавил специально созданный сектор № 11. К решению задачи подключились Д. В. Ширков из группы Н. Н. Боголюбова, с 1950 года работавший в КБ-11, и В. С. Владимиров, приехавший еще раньше, а также Л. В. Овсянников и Б. В. Войцеховский, прибывшие вместе с М. А. Лаврентьевым. Проблемой прочности занимался член-корреспондент Л. А. Галин. Конструкторскую группу сектора 11 возглавлял А. И. Абрамов. Его сотрудниками были в основном молодые люди. Задачу перед ними поставили трудную,

Макет артиллерийского снаряда с ядерным зарядом в Музее ВНИИЭФ

Артиллерийское самоходное орудие для заряда РДС-41. Москва, Красная площадь. 7 ноября 1957 г.

ответственную и срочную. Конструкция первого ударопрочного атомного заряда для артснаряда значительно отличалась от ранее разработанных. Все составные части его должны были выдерживать перегрузки, возникающие при ускорении в канале ствола артиллерийского орудия. Требовались принципиально новые научные и конструкторские решения. Их поиски увенчались успехом.

Полигонные испытания заряда, получившего индекс РДС-41, прошли в 1956 году и были удачными. Мощность взрыва превысила ожидаемую. Заряд прошел полный цикл газодинамических стрельбовых испытаний, и вся документация на него была подготовлена к передаче в серийное производство. Для него разработали специальные артиллерийские орудия «Конденсатор» и «Трансформатор». Однако к этому времени на вооружение уже были переданы тактические пороховые баллистические ракеты с ядерным оружием «Филин» и «Марс» (примерно с такой же дальностью полета). Поэтому актуальность атомного артснаряда снизилась, и в серийное производство РДС-41 передан не был. Многие физические, газодинамические и конструкторские решения РДС-41 были использованы в последующих разработках атомных зарядов второго поколения в период 1958–1966 годов (эта тематика развивалась в НИИ-1011). В 1958 году М. А. Лаврентьеву, Д. В. Ширкову, Л. В. Овсянникову, В. М. Некруткину и А. И. Абрамову за разработку РДС-41 была присуждена Ленинская премия.

В середине 50-х КБ-11 пережило несколько организационных перестроек, связанных с образованием новых учреждений атомной отрасли СССР. Летом 1955 года были созданы и вскоре приступили к самостоятельной деятельности НИИ-1011 (теперь ВНИИТФ, г. Снежинск Челябинской области) и КБ-25 (ныне НИИА им. Духова, г. Москва). Первое время часть их работ протекала на территории КБ-11, которое всем, чем могло, помогало «дочерним» предприятиям. В состав новых организаций вошли многие сотрудники КБ-11, занимавшие в нем ведущие должности и выполнявшие важные работы. Например, на Урал уехали К. И. Щелкин, Е. И. Забабахин, Ю. А. Романов, В. Ф. Гречишников, Г. А. Цырков, А. Д. Захаренков, Л. П. Феоктистов, И. В. Богословский, многие другие, успешно и плодотворно решавшие оборонные задачи в КБ-11. Теперь они становились работниками научно-производственного центра, не только партнера, но и в какой-то мере конкурента КБ-11. Это было, как показало время, правильным выбором пути. Сами участники работ говорили: монополии на истину не существует. И сотрудники двух центров вместе прокладывали нелегкую дорогу к ней. Такая обстановка взаимопомощи в сочетании с соревновательной компонентой, как обычно и бывает в подобных ситуациях, придавала сильный импульс стремлению обоих центров добиться наилучших результатов. Они не замедлили себя ждать: коллективу ВНИИТФ принадлежит немало замечательных достижений в деле создания отечественного ядерного щита. При этом тесные творческие, производственные и просто дружеские связи между двумя крупнейшими разработчиками ядерного оружия сохранялись долгие годы и не прерываются сейчас.

Вот что писал Ю. Б. Харитон о работе советских ядерщиков: «Создание ракетно-ядерного оружия потребовало предельного напряжения человеческого интеллекта и сил. Быть может, оправданием здесь является то, что почти пятьдесят лет ядерное оружие своей невиданной, разрушительной силой, применение которой угрожает жизни на Земле, удерживало мировые державы от войны, от непо-

правимого шага, ведущего к всеобщей катастрофе. Вероятно, главный парадокс нашего времени в том и состоит, что самое изощренное оружие массового уничтожения до сих пор содействует миру на Земле, являясь мощным сдерживающим фактором».

25 СЕНТЯБРЯ 1949 г.

Сообщение ТАСС

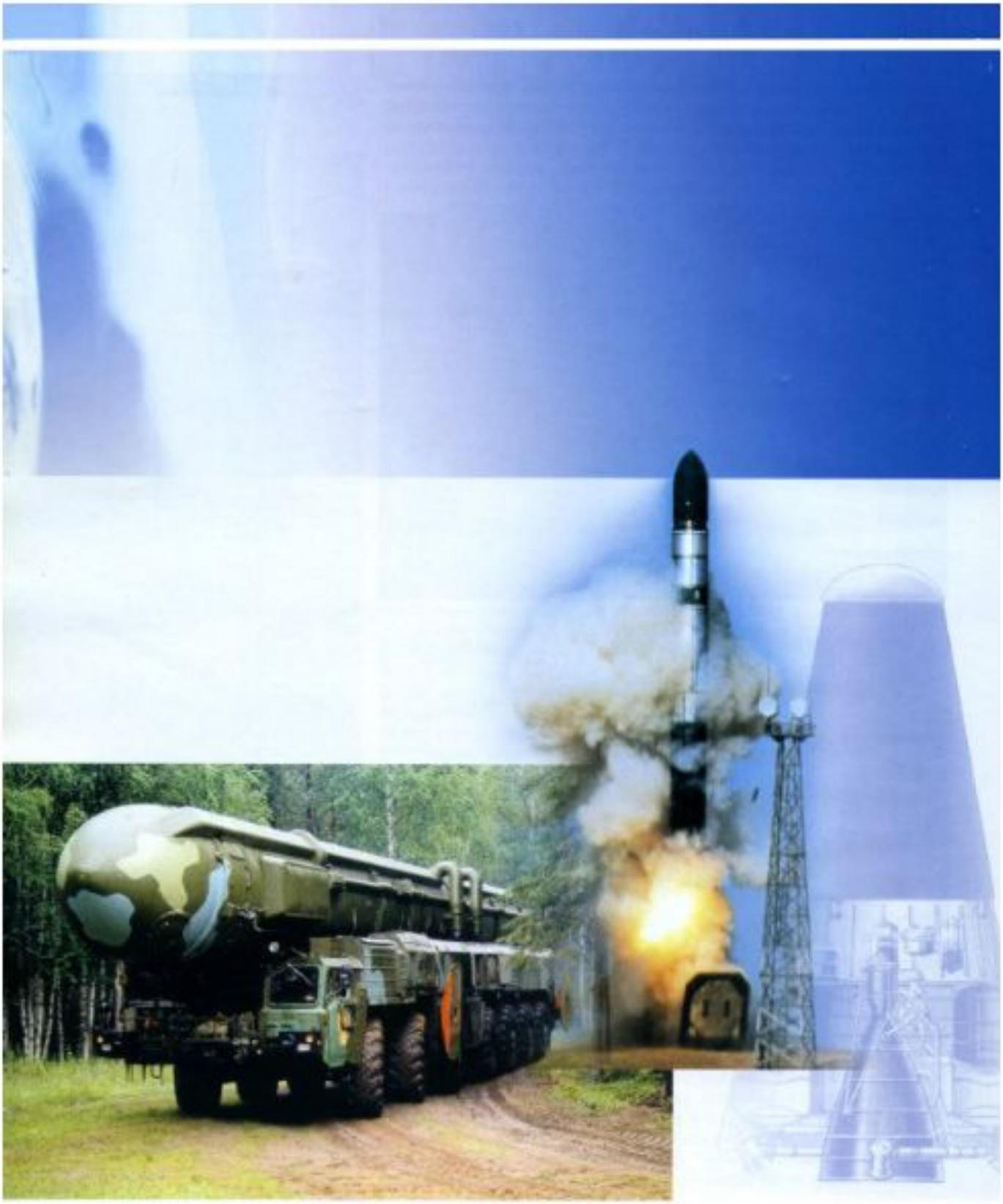
U.S. News & World Report

WHAT TO DO ABOUT A-BOMB NOW THAT RUSSIA HAS IT

U.S. Is 4 Years Ahead But Plans Defenses

И. В. Сталин

Г. Трумэн



От зарядов – к ядерному оружию

Одна задача, одна работа

Ядерные заряды – сложные наукоемкие устройства. Физика их работы уникальна, расчетно-теоретическое обоснование параметров, обеспечивающих срабатывание, требует обязательного подтверждения в сложных и дорогостоящих экспериментах. Разработка зарядов представляет собой многогранный процесс, в котором важная роль принадлежит конструкторам. Не менее сложна и подготовка заряда для серийного производства, и здесь конструкторы также выполняют очень ответственный этап работы. В его рамках конструкторы должны сформулировать свои требования к производственникам, а также тем, кто отвечает за разработку систем «включения», управления, контроля за работой заряда. При этом необходимо увязать в единое целое требования физиков и возможности производства, эксплуатационные требования и характеристики носителей. Как рассказывал один из конструкторов, «в физической схеме заряда, разработанной теоретиками, все идеально. То есть детали «висят» в воздухе, не соприкасаются, их размеры и плотность даются без допусков, оболочки – без разъемов и т. д. Конструкция же реальна. Детали размещаются в пространстве по опорным зонам, их размеры и плотность находятся в определенных пределах, оболочки разделены на части. Конструкция «дышит» (меняет свои размеры) в соответствии с изменениями температуры окружающей среды; стареет со временем. Ее пронизывают силовые поля и вибрации, собственная радиация. Ее необходимо защищать от коррозии,

С. П. Королев

М. К. Янгель

Е. А. Негин

делать стойкой к аварийным воздействиям, таким, как пожар, падение. Все это представляет собой отдельный, сложный и важный этап работы над зарядом. Бессмысленно рассуждать, что здесь более важно. Следует констатировать очевидное: это единый творческий процесс». Практика подтверждает мнение конструктора. Всмотримся пристальнее в историю создания ядерного щита страны.

Долгий путь поисков и достижений

В развитии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ РФЯЦ-ВНИИЭФ в области зарядостроения исторически можно выделить определенные этапы и направления, связанные с решением задач совершенствования отечественного ядерного оружия.

Первый этап был связан с решением основополагающих задач теории и практики создания атомных, а затем и термоядерных зарядов и их экспериментальной проверкой. Этот этап охватывает период с 1946 года до начала 1960-х годов и включает в себя появление почти всех фундаментальных идей в теории ядерных зарядов. Бесспорная заслуга в этом принадлежит ученым, работавшим в РФЯЦ-ВНИИЭФ, спектр творческой деятельности которых охватывал все области знаний, имеющих хотя бы отдаленную связь с проблемами овладения ядерной энергией.

Второй этап, более продолжительный по времени, характеризуется целенаправленной работой над конкретными образцами ядерных и термоядерных зарядов самого широкого назначения на основе полученных ранее знаний. Во всех ключевых направлениях ядерно-оружейной деятельности специалисты КБ-11 (с 1966 года ВНИИЭФ) и на этом этапе добились выдающихся результатов. Их достижения позволили эффективно отвечать на любые внешние вызовы в течение всего периода «холодной войны» и обеспечили устойчивость политики ядерного сдерживания в развитии межгосударственных отношений.

Третий этап – современная деятельность в области ядерных зарядов. Этот этап характеризуется отсутствием полигонных ядерных испытаний, беспрецедентным для нашей страны сокращением всех видов вооружений, серьезными экономическими проблемами. В соответствии с этими условиями перед ВНИИЭФ стоит задача сохранить в необходимой мере базовые технологии разработки зарядов и кадры и на этой основе обеспечить поддержание и сохранение ядерного боезапаса страны.

Рассмотрим подробнее важнейшие вехи каждого этапа.

Атомные заряды первого поколения

Даже создание ядерных боеприпасов для хорошо изученного средства доставки – самолета – потребовало большого напряжения научно-конструкторской мысли. К началу пятидесятых годов задача, которая ставилась перед КБ-11 в 1946-м, была решена: атомный заряд РДС-1 создан и испытан. Теперь требовалось как можно быстрее перейти к разработке более совершенных атомных зарядов. Усилия в этом направлении предпринимались заранее. Еще летом 1948 года по предложению И. В. Курчатова, Б. Л. Ванникова и Ю. Б. Харитона

было подготовлено Постановление СМ СССР «О дополнении плана работ КБ-11». В нем содержались задания, касающиеся создания новых атомных зарядов с обозначениями РДС-3, РДС-4, РДС-5.

Принципиальные отличия РДС-2 и РДС-3 от РДС-1 состояли в схемном решении конструкции центральной части и фокусирующей системы заряда, а между собой эти заряды различались только составом ядерных материалов. Указанные особенности позволили достичь более высоких сжатий делящихся материалов, уменьшить габарит и массу зарядов. Таким образом, их размеры и масса, по сравнению с РДС-1, уменьшились, а мощность увеличилась более чем в два раза. Заряды РДС-2, РДС-3 были успешно испытаны в сентябре-октябре 1951 года. Таким образом, десятого октября 1951 года в СССР впервые была успешно испытана атомная бомба как ядерный боеприпас самолета Ту-4. В октябре 1954 года бомба РДС-3 была испытана с внешним импульсным нейтронным источником, применение которого позволило повысить мощность заряда в полтора раза по сравнению с ранее испытанным вариантом. Это было первое полигонное испытание заряда с внешним импульсным нейтронным источником.

Планы дальнейшего совершенствования зарядов были связаны с созданием ядерной бомбы меньшего калибра и массы для реактивных бомбардировщиков ИЛ-28, базирующихся на аэродромах европейского театра военных действий. Разработанный в соответствии с этими требованиями заряд РДС-4 был успешно испытан 23 августа 1953 года на Семипалатинском полигоне. Бомба, содержащая заряд, подвешивалась к самолету Ил-28. Мощность заряда РДС-4 была сопоставима с мощностью РДС-2 при сокращении диаметра на одну треть. В дальнейшем заряд РДС-4 и его модификации также использовались в качестве боевого оснащения баллистической ракеты средней дальности Р-5М класса «земля – земля» и фронтовой крылатой ракеты (ФКР-1) с подвижным стартом.

В полигонных испытаниях 1953–1954 годов проводились исследования, связанные с уменьшением необходимой для создания заряда массы остродефицитного плутония (на этом этапе еще не было наработано достаточного количества делящихся материалов). Полученные уникальные результаты заложили основу для дальнейших проработок и оптимизации массы плутония и энерговыделения заряда на принципе имплозии. Был разработан вариант заряда РДС-4, получивший обозначение РДС-4М. Он содержал меньшее количество делящихся материалов и, соответственно, имел меньшую мощность. Кроме бомбы, с РДС-4М была разработана модификация головной части баллистической ракеты Р-5М, а также боевая часть фронтовой крылатой ракеты КС-7 на подвижной стартовой установке.

К 1957 году на предприятиях Минсредмаша было наработано достаточно большое количество урана-235, поэтому стало возможным создание атомного заряда имплозивного типа с применением в качестве ядерного горючего только урана-235. Этот заряд был успешно испытан в сентябре 1957 года, после чего произошла передача его на вооружение в составе боевых частей.

В 1953–1954 годах началась разработка атомного заряда для торпеды Т-5, имевшей стандартный калибр. Требовалось существенно, по сравнению с предыдущими разработками РДС-4, сократить габарит заряда. Разработчикам в КБ-11 предстояло решить непростую задачу. По результатам трех полигонных испытаний была выбрана

С. Н. Воронин

Д. А. Фишман

С. Г. Кочарянц

Траектория полета баллистической ракеты стратегического назначения

Ракета Р-7 на старте

конструкция заряда для торпеды. Этот заряд 21 сентября 1955 года был испытан в составе боевого зарядного отделения (БЗО) торпеды Т-5 в подводном положении в районе архипелага Новая Земля. (США к тому времени уже провели подводный атомный взрыв в районе атолла Бикини.) Документация на заряды БЗО для торпеды Т-5 была передана в серийное производство в 1957 году. Так была создана первая в стране торпеда с атомным зарядом. Затем КБ-11 совместно с КБ-25 приступили к созданию автономного специального боевого зарядного отделения (АСБЗО), которое могло бы использоваться в любой торпеде такого же калибра. В АСБЗО устанавливался облегченный заряд, разработанный на базе испытанного в 1955 году, с применением нового взрывчатого состава. В нем предусматривалось существенное расширение температурного диапазона эксплуатации. Эта работа потребовала исследований температурной прочности и стабильности взрывчатого состава в деталях в широком диапазоне температур, виброустойчивости и вибропрочности.

Начальник конструкторского сектора Г. А. Соснин за творческое участие в создании атомного заряда и его отработке в составе АСБЗО был удостоен звания лауреата Ленинской премии.

Заряд был также модифицирован для размещения в зенитной управляемой ракете ЗУР-215 (тем самым решалась задача укрепления противовоздушной обороны страны). Девятнадцатого января 1957 года прошли успешные испытания новой разработки. Пуск ракеты и взрыв (на высоте ~ 10 км) ядерного заряда явились заключительным этапом государственных летных испытаний ракеты ЗУР. Под действием взрыва два самолета-мишени Ил-28, управляемые по радио и находящиеся на расстоянии примерно 1000 м от эпицентра, были уничтожены. Заряд находился в серийном производстве и впоследствии также использовался в комплексе с тактической пороховой баллистической ракетой «Марс» и тактической ракетой «Луна».

Итак, мы видим, что со второй половины 50-х годов номенклатура ядерных боеприпасов начала быстро разрастаться. Были разработаны серия авиабомб, ядерные боеприпасы для первых баллистических ракет средней дальности, для первой крылатой ракеты и самолета-снаряда. Появились первые ядерные торпеды и первая зенитная управляемая ракета с ядерным боевым оснащением. Несколько позднее на вооружение были приняты оперативно-тактические ракеты, разработаны атомный артиллерийский снаряд и атомная мина.

В самом конце пятидесятых годов на боевое дежурство встали и стратегические межконтинентальные ракеты. Они должны были нести новые, гораздо более мощные заряды – термоядерные. Первым (одноступенчатым) зарядом такого типа стал заряд РДС-6с, испытанный 12 августа 1953 года. Опыт его разработки имел ключевое значение в дальнейших работах КБ-11 по термоядерным зарядам. Был создан научно-технический и производственный задел, который обеспечил дальнейший прогресс в области конструирования термоядерного оружия. Этот задел вскоре был использован в разработке несравнимо более совершенного двухступенчатого термоядерного заряда.

За участие в разработке РДС-6с конструкторы были отмечены высокими наградами Родины. Звания Героя Социалистического Труда был удостоен В. Ф. Гречишников (начальник конструкторско-

го отдела). Лауреатами Сталинской премии стали А. И. Братухин, Н. В. Бронников, В. Ф. Гречишников, П. А. Есин, И. И. Калашников, Г. И. Матвеев, Н. А. Терлецкий, Д. А. Фишман, В. Ф. Шатилов, Б. А. Юрьев. Орденами и медалями СССР были награждены 16 конструкторов.

Самолет Ту-16

Крылатая ракета «Буря»

Заправка ракеты Р-12

Дальнейший рост арсенала термоядерных зарядов

Успехи специалистов КБ-11 дали стране принципиальную возможность при необходимости быстро наращивать ядерный арсенал. Его основной составляющей стали термоядерные заряды, серийное производство которых началось после испытания РДС-37, успешно прошедшего 22 ноября 1955 года. Эта разработка легла в основу нескольких термоядерных зарядов для боевого оснащения следующих носителей:

- межконтинентальной стратегической ракеты (МБР) Р-7;
- стратегической ракеты среднего радиуса Р-12;
- морской ракеты Р-13;
- тяжелых бомбардировщиков Ту-16, ИЛ-28;
- межконтинентальной крылатой ракеты «Буран», «Буря».

Задача разработки заряда для МБР Р-7 была поставлена перед коллективом КБ-11 правительством страны и получила приоритетный характер. Технический облик конструкции заряда определялся совместно с ОКБ-1, возглавляемым главным конструктором С. П. Королевым. Компоновка заряда в корпусе головной части ракеты Р-7 осуществлялась с учетом выполнения важных и сложных условий, необходимых для того, чтобы разместить заряд в жестко ограниченном объеме и в то же время обеспечить возможность его срабатывания. Творческая работа двух коллективов позволила решить эти задачи. Специалисты КБ-11 в этот период совершили немало прорывов в области зарядостроения и создания боевых частей. В частности, впервые – по инициативе Ю. Б. Харитона – были использованы методы масштабного моделирования, когда многие характеристики проверялись на уменьшенных в 2–2,5 раза моделях. В октябре 1957 года заряд для Р-7 был испытан на полигоне. Еще два года ушли на улучшение конструкции головной части ракеты и совершенствование измерительных систем, используемых при работе заряда. В ноябре 1959 года четыре наземных комплекса первых советских межконтинентальных ракет с ядерным зарядом встали на вооружение. За творческое участие в создании боевого оснащения ракеты Р-7 званий лауреатов Ленинской премии были удостоены начальник конструкторского отдела С. Н. Воронин, начальник научно-исследовательского комплекса Ю. Г. Карпов. Орденом Ленина был награжден Е. Г. Малыхин.

Несколько ранее, 23 февраля 1958 года, успешно прошел испытания двухступенчатый термоядерный заряд усовершенствованной физической схемы, получивший номер 49. Этот заряд, образно говоря, открыл новую страницу в практике разработки термоядерных зарядов, поскольку позволил увеличить их удельную мощность при увеличении плотности компоновки и уменьшении габаритов. Так было положено начало созданию термоядерных зарядов второго поколения.

В марте 1958 года СССР выступил с инициативой прекращения ядерных испытаний, приняв в одностороннем порядке мораторий на их проведение. Однако отказ западных держав последовать этому при-

Схема установки ракеты Р-14 на ПУ

меру заставил руководство нашей страны с октября 1958 года возобновить ядерные испытания. В конце 1958 года было испытано пять экспериментальных стратегических термоядерных зарядов мегатонного класса, различных по мощности, массе и габаритам, в основе которых лежала физическая схема заряда 49. В кратчайшее время были развернуты работы по размещению этих зарядов в головных частях МБР Р-7А, Р-9, Р-16, а также ракет среднего радиуса действия Р-12 и Р-14.

Важной вехой в создании термоядерных зарядов этого поколения была реализация идеи по существенному увеличению КПД атомного заряда. Успех был достигнут за счет так называемого «бустерного» режима срабатывания, что позволило сократить расход делящихся материалов, повысить надежность зарядов и существенно уменьшить их массу и габариты. Первое испытание такого экспериментального атомного заряда состоялось 28 декабря 1957 года.

За творческий вклад в решение этих задач в 1959 году группе научных сотрудников и конструкторов КБ-11 решением Совета министров СССР были присуждены Ленинские премии. Лауреатами стали В. А. Александрович, Ю. Н. Бабаев, Б. Д. Бондаренко, В. А. Давиденко, В. П. Жогин, С. Б. Кормер, Г. И. Матвеев, В. Г. Морозов, Е. А. Негин, Ю. А. Трутнев, Д. А. Фишман.

В ноябре 1958 года СССР и США объявили мораторий на ядерные испытания, который продолжался по 1 сентября 1961 года.

Период 1959–1961 годов в КБ-11 примечателен активным зарождением новых физических идей и конструкторских решений, развитием расчетно-теоретической и экспериментально-исследовательской базы. В то время были начаты работы по малогабаритным первичным зарядам, работающим в «бустерном» режиме, выдвинуты предложения по направленному выводу излучения, по новым многоступенчатым физическим схемам, позволяющим повышать мощность зарядов мегатонного класса. Появились и другие идеи и предложения, которые легли в основу новых образцов зарядов, испытанных позже, в 1961–1962 годах, а затем в условиях подземных испытаний.

В этот период в КБ-11 произошли принципиальные структурные изменения. В 1959 году конструкторские подразделения были объединены в два тематических КБ: КБ-1 по разработке ядерных зарядов (его возглавили Е. А. Негин и его первый заместитель Д. А. Фишман) и КБ-2 по разработке ядерных боеприпасов и автоматики, руководителем которого стал С. Г. Кочарянц, а его первым заместителем — Ю. В. Мирохин.

Появление зарядов нового поколения потребовало решения ряда конструкторских, металловедческих, технологических, исследовательских и методических задач.

В течение 1958–1960 годов были выявлены потребности армии в ядерном оснащении комплексами оружия различного назначения и с некоторым запасом определена номенклатура новых зарядов. К 1961 году были проработаны проекты экспериментальных зарядов повышенной удельной мощности стратегического назначения и разработана документация к ним.

Сессия испытаний 1961–1962 годов подвела итоги первого этапа в развитии ядерных зарядов — создания научно-технической базы для их разработки. Далее началась беспрецедентная по масштабам и результатам работа по созданию ядерного арсенала страны, которая продолжалась до конца 80-х годов. Эта работа во ВНИИЭФ включала три основных направления:

– развитие и совершенствование термоядерных зарядов и первичных инициаторов для стратегических систем оружия различных классов и различных вариантов базирования;

– создание специализированных термоядерных зарядов для ПРО и ПВО — рентгеновских и нейтронных;

– разработка термоядерных и атомных зарядов для нестратегических систем оружия различного вида базирования: авиационного, морского, сухопутных войск.

За творческое участие в решении сложных задач этого этапа большая группа конструкторов КБ-11 была удостоена правительственных наград. Героями Социалистического Труда стали С. Г. Кочарянц, Н. А. Петров и Д. А. Фишман. Ленинской премии были удостоены конструкторы сектора 5 КБ-1: В. М. Воронов, Е. Г. Малыхин, А. Д. Пелипенко, А. С. Россихин, Ф. А. Соколов, А. В. Сырунин, В. М. Худяков. Многие конструкторы были награждены орденами и медалями. Кавалерами ордена Ленина стали С. Н. Воронин и В. П. Жогин.

Работы над зарядами второго поколения для стратегических комплексов оружия (1958–1966 годы)

Совершенствование стратегических зарядов в этот период было связано, главным образом, с дальнейшим повышением удельной мощности термоядерных зарядов. Разработчики термоядерных узлов располагали двумя возможностями решения этой задачи, основанными на различных подходах, но в целом успешно реализовавшихся. Эти результаты привели к созданию многих новых изделий.

В этот период ядерными зарядами второго поколения были оснащены многочисленные системы вооружений Советской Армии, в том числе ракетные войска стратегического назначения и военно-морской флот. Упомянем здесь только два результата напряженной работы коллектива КБ-11.

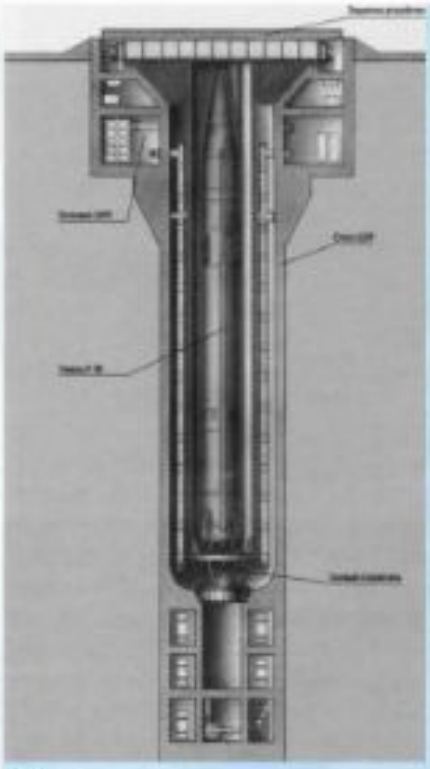
С начала 60-х годов как отдельный класс разрабатываются ракеты стратегического и оперативно-тактического назначения средней и малой дальности для стационарных и подвижных комплексов. Стратегическая ракета Р-12 (Р-12У) наземного и шахтного базирования, разработанная в КБ академика М. К. Янгеля, стояла на вооружении ракетных войск почти 30 лет, до 1986 года, и была ликвидирована согласно Договору о ракетах среднего и малого радиуса действия (РСМД).

В начале 60-х годов в СССР развернулись работы по созданию тяжелой межконтинентальной баллистической ракеты Р-36, которая впоследствии стала основой нашего ракетно-ядерного щита. Для оснащения этой ракеты в 1962 году в РФЯЦ-ВНИИЭФ был разработан и успешно испытан уникальный термоядерный заряд сверхбольшой мощности. В его теоретическую разработку наибольший вклад внес Б. Н. Козлов, среди конструкторов нужно отметить В. А. Белугина и И. Г. Иванова. В 1966 году ВНИИЭФ провел успешное испытание заряда второго поколения, в котором повышение удельной мощности почти вдвое было достигнуто за счет увеличения вклада реакций деления в термоядерном модуле. В дальнейшем эти результаты привели к созданию многих новых изделий третьего поколения.

Ядерными зарядами второго поколения были оснащены, помимо указанных выше, многочисленные системы вооружений Советской армии, в том числе:

РВСН – МБР с моноблочными головными частями (ГЧ): Р-7А, Р-9А, Р-16, УР-100, РТ-2; БР с моноблочными ГЧ: Р-14 и ее модификации;

ВМФ – БРПЛ с моноблочными ГЧ: Р-21 (комплекс Д4), подводная лодка проекта 629А, 658, Р-27 (комплекс Д5), подводная лодка проекта 667А.



Шахтная пусковая установка ракеты Р-36

Головная часть орбитальной баллистической ракеты

Подводный флот СССР оснащался ракетами с ядерными боеголовками

Комплекс «Тополь-М»

За работы по совершенствованию ядерных зарядов для оснащения стратегических систем вооружения Ленинские премии были присуждены физикам-теоретикам Б. Н. Козлову, В. С. Лебедеву, В. Н. Мохову, конструкторам И. М. Быструеву и В. К. Родникову. Успешное решение проблемы безопасности эксплуатации ядерных зарядов было отмечено присуждением Государственных премий СССР одиннадцати сотрудникам ВНИИЭФ, в том числе конструкторам Г. И. Иванову и А. Е. Телегину.

Во второй половине 60-х годов США начали в больших масштабах создавать свою противоракетную оборону. Для ее преодоления требовались новые системы вооружений. С 1967 года во ВНИИЭФ развертываются работы по созданию термоядерных зарядов следующего (третьего) поколения. Заряды третьего поколения разрабатывались, прежде всего, в интересах боевого оснащения систем стратегических вооружений, для ракет с разделяющимися головными частями и для систем ПРО. Многие системы ядерного оружия с этими зарядами находятся на вооружении до настоящего времени. Примером может служить широко известный (благодаря прессе и телевидению) комплекс «Тополь-М», созданный в двух модификациях: стационарной, шахтной, и подвижной. Эта разработка, начатая еще в середине 80-х, в 1992 году была передана из КБ «Южное» (главный конструктор — М. К. Янгель) в Россию в связи с принятием Украиной статуса неядерной державы. Боевая часть для ракеты создана во ВНИИЭФ (руководители разработки — С. Н. Воронин и Г. Н. Дмитриев, до 1999 года начальники КБ-1 и КБ-2). Испытания нового оружия, проведенные 8 декабря 1998 года, показали его высокую надежность и боеспособность. По планам Минобороны этот комплекс в XXI веке составит основу ядерных сил России.

Третье поколение зарядов (1966–1990 годы)

Этот этап работ по созданию и совершенствованию ядерных зарядов, наиболее продолжительный, можно условно разделить на два временных периода:

– 1966–1976 годы: беспрецедентная гонка вооружений, обеспечение паритета сил и создание более совершенных комплексов вооружений, эффективных в условиях возможного противодействия ПРО и ПВО;

– 1976–1990 годы: завершающий период гонки ядерных вооружений.

На этом этапе разработчики отечественного ядерного оружия приступили к решению новых задач, связанных с созданием более совершенных комплексов вооружений и модернизацией существующих. Для стратегических систем необходимо было новое боевое оснащение, способное преодолевать противодействие системы противоракетной обороны (ПРО). Задача повышения стойкости конструкции заряда и головной части в целом к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва (ПФЯВ) противоракет считалась одной из приоритетных. Для решения перечисленных выше задач были организованы расчетно-теоретические работы по изучению воздействия проникающих излучений ядерного взрыва на боеприпасы, вооружение и военную технику. Единый творческий коллектив буквально поэлементно просмотрел боевое оснащение всех стратегических комплексов, выявил слабые места, рассмотрел различные способы их упрочнения. Технические решения были

проверены в подземных ядерных испытаниях, которые позволили моделировать возможные ситуации с воздействием поражающих факторов ядерного взрыва.

Плодотворные годы

Значительная веха указанного периода — 1966 год. В этом году были испытаны экспериментальные заряды, которые открыли новые возможности в совершенствовании термоядерных вооружений. Проверенные в этих опытах физические и конструкторские решения использовались практически во всех стратегических термоядерных зарядах третьего поколения. Заряды третьего поколения разрабатывались, прежде всего, в интересах боевого оснащения систем стратегических вооружений, для ракет с разделяющимися головными частями. Они явились основой боевого оснащения ядерных вооружений РВСН. Стратегические заряды также применялись для оснащения моноблочных головных частей ракет, размещенных на подводных лодках. Многие системы ядерного оружия с этими зарядами находятся на вооружении до настоящего времени.

Исключительно важные результаты были получены в 1968–1970 годах, когда шла отработка зарядов повышенной стойкости, разных весовых категорий. В условиях подземных испытаний была проверена работоспособность стратегических зарядов мегатонного класса на полную мощность.

Планы создания противоракетной обороны США остро поставили вопросы защиты отечественных ядерных боеприпасов от возможных негативных воздействий. Для достижения этих целей была проведена серия полигонных экспериментов по изучению комплексного воздействия излучений ядерного взрыва на ядерные боеприпасы, ядерные заряды и элементную базу. Широко исследовались возможности применения специальных защитных материалов. При проектировании и отработке новых зарядов в массовом количестве внедрялись новые материалы, прогрессивные технологии, осуществлялась миниатюризация многих важных элементов конструкции.

К середине 70-х годов были решены задачи по оснащению комплексов стратегического оружия различного назначения ядерными зарядами третьего поколения. В ракетных войсках стратегического назначения на дежурство встали МБР с моноблочными и разделяющимися головными частями (РГЧ). Корабли ВМФ получили баллистические ракеты с моноблочными ГЧ. Для ядерного оснащения этой системы вооружения использовались как заряды, проверенные в воздушных испытаниях 1961–1962 годов, так и заряды, испытанные в подземных условиях, т. е. принадлежащие ко второму и третьему поколениям.

Второй из указанных периодов (1976–1990 годы) совпадает с завершающим этапом гонки ядерных вооружений времен холодной войны. В это время ядерные силы США и СССР развивались в рамках, установленных рядом двусторонних договоров и соглашений в области ограничения ЯО.

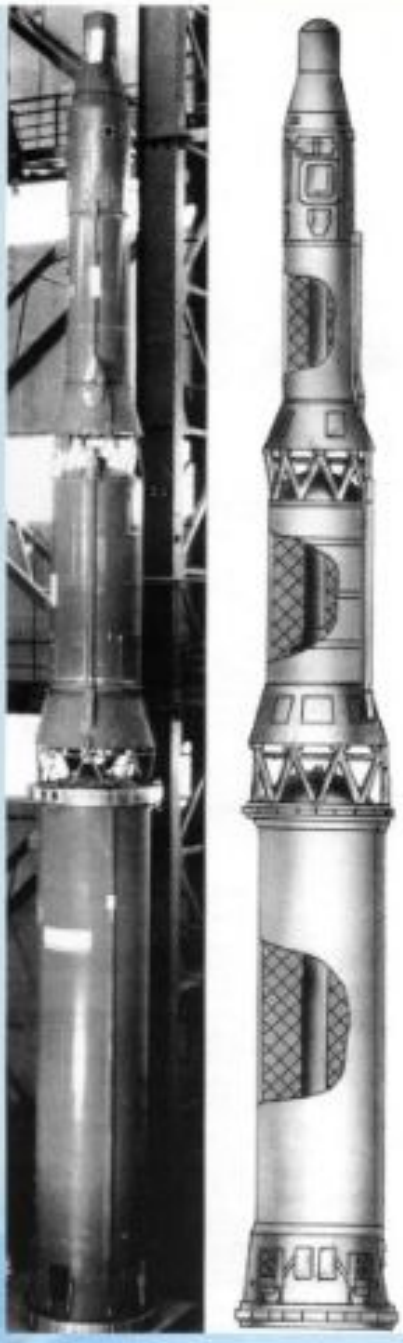
Задачи, которые решал коллектив ВНИИЭФ в эти годы, включали:

– создание термоядерных зарядов для комплекса, аналогичного боеприпасу США «Трайдент-1»;

– создание термоядерных зарядов для ракеты стратегического назначения, аналогичной боеприпасу МБР МХ США;

Испытательный пуск баллистической ракеты

Межконтинентальная баллистическая ракета на выходе из шахтной пусковой установки (испытания)



Ракета РТ-2-1

– модернизацию серийных зарядов с целью повышения их надежности и устойчивости к противодействию, автономные испытания первичного атомного заряда для этих целей и его проверку на ядерную взрывобезопасность;

– создание специализированного заряда для комплексов стратегического оружия, испытания первичного атомного заряда и испытание по определению характеристик заряда при работе в режиме предельно высокого уровня ПФЯВ (поражающие факторы ядерного взрыва);

– проведение опытов по проверке работоспособности зарядов в условиях ядерного противодействия и повреждения зарядов, по проверке физических параметров атомных зарядов и уточнения их работоспособности, испытания зарядов серийного производства и зарядов из боеприпаса;

– проведение различного типа облучательных ядерных взрывов (ФО, ТИГ-Колба, ТОР, ЭФИР), в которых проверялись стойкость к воздействию ядерного взрыва комплексов оружия, ядерных боеприпасов и зарядов, их составных частей и материалов.

Проведенные облучательные и исследовательские опыты дали обширную информацию, которая сейчас постоянно используется для решения современных оружейных задач как организациями Росатома, так и разработчиками новых комплексов оружия. Остановимся на некоторых из перечисленных работ подробнее.

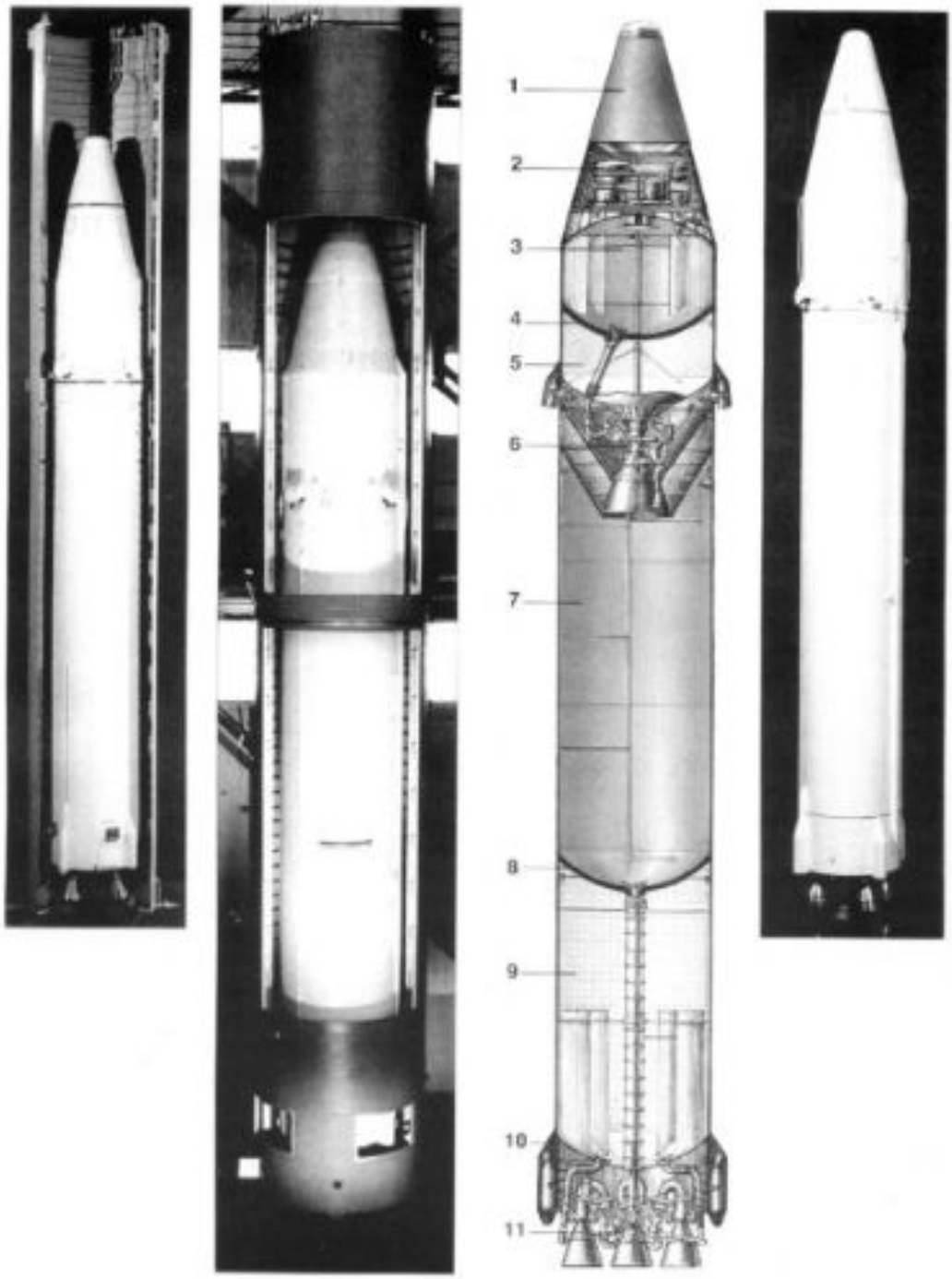
В середине 70-х годов США приступили к завершающей стадии разработки новых твердотопливных межконтинентальных баллистических ракет МХ и подводных ракет «Трайдент», которые оснащались разделяющимися головными частями с числом боеголовок 10 и 14 соответственно. На появление этого грозного оружия Советский Союз вынужден был ответить адекватно. КБ «Южное» (генеральный конструктор В. Ф. Уткин) поручалась разработка твердотопливной МБР Р-23 с параметрами, близкими к параметрам американской МБР МХ. Соответственно КБ «Машиностроение» (генеральный конструктор В. П. Макеев) должно было разработать твердотопливную БРПЛ с параметрами, близкими к «Трайдент-1». Это был последний виток соперничества СССР и США в совершенствовании ракетно-ядерных технологий.

Над проблемой создания заряда для боевого блока, аналогичного боеголовке БРПЛ «Трайдент-1», работали и ВНИИЭФ, и ВНИИТФ. Во ВНИИЭФ по этому направлению отрабатывались малогабаритные первичные атомные инициаторы и термоядерные заряды на различных физических схемах построения термоядерного узла. Конструкторские работы проводились в отделе В. М. Воронова. По итогам этой работы звания лауреатов Государственной премии в 1979 году были удостоены С. Н. Воронин, В. Е. Москаленко, П. Д. Гаспарян, М. А. Ерзин и И. Д. Софронов. Звания лауреатов присвоены также ряду специалистов ВНИИТФ.

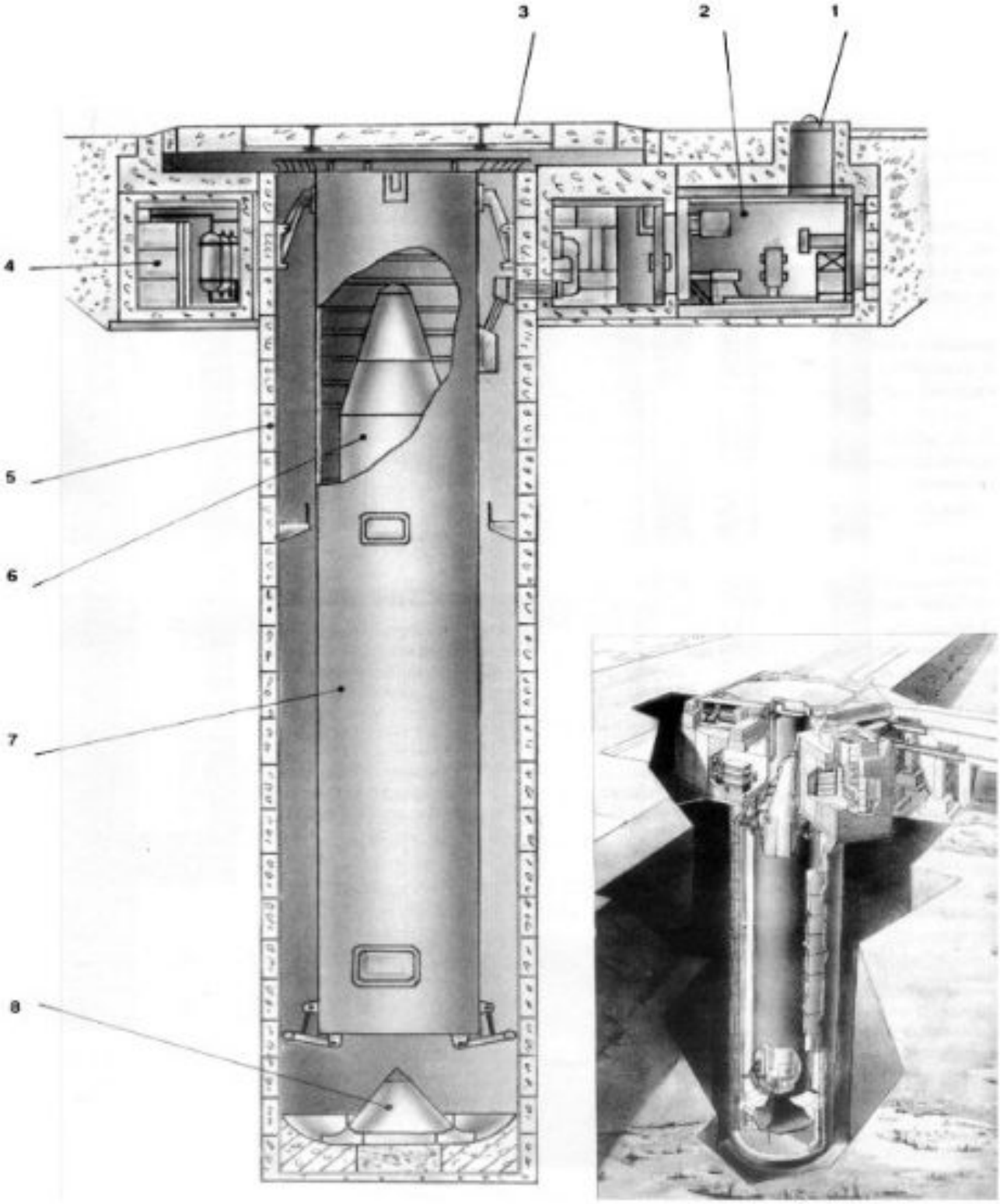
Продолжение и развитие. ПРО и ПВО

В период 1976–1990 годов велась лабораторно-конструкторская отработка по двадцати шести наименованиям зарядов, восемнадцать из них были переданы в производство и в составе новых комплексов оружия приняты на вооружение. По шести наименованиям зарядов, испытанных в то время, работы после длительного перерыва про-

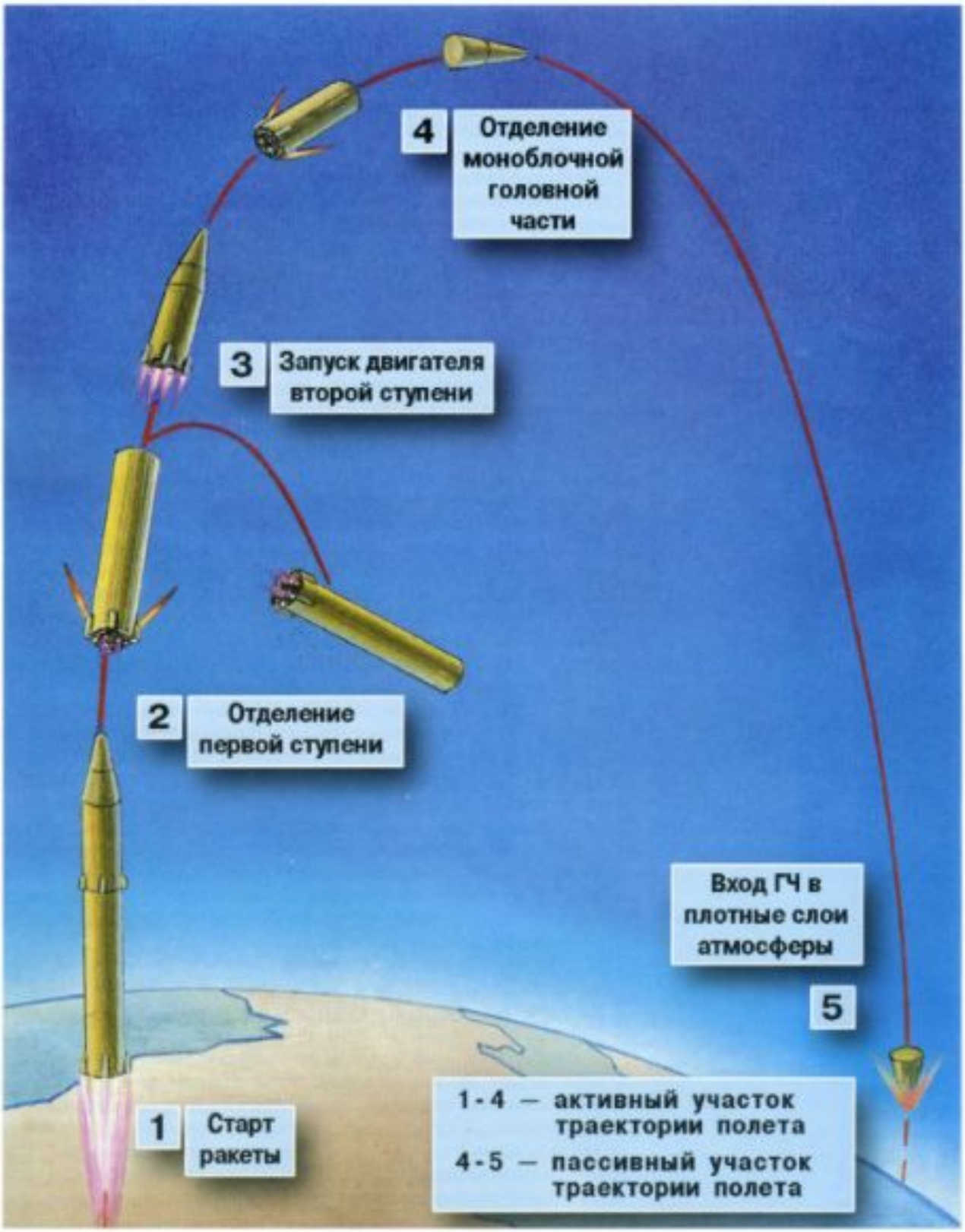
Ракета УР-100 предназначена для поражения стратегических объектов на межконтинентальных дальностях. Ракета УР-100 – жидкостная, легкого класса, оснащена моноблочной ядерной головной частью.



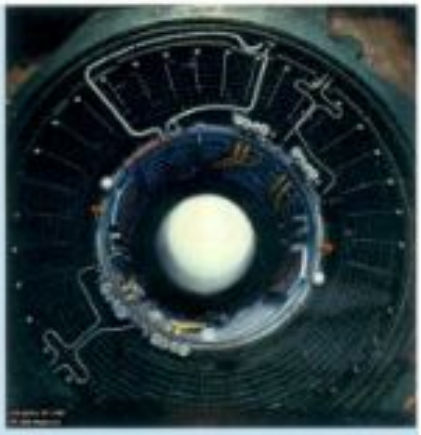
Конструктивно-компоновочная схема ракеты УР-100: 1 – головная часть; 2 – приборный отсек; 3 – бак окислителя II ступени; 4 – промежуточное днище топливного отсека II ступени; 5 – бак горючего II ступени; 6 – маршевая двигательная установка II ступени; 7 – бак окислителя I ступени; 8 – промежуточное днище топливного отсека I ступени; 9 – бак горючего I ступени; 10 – хвостовой отсек I ступени; 11 – маршевая двигательная установка I ступени



Шахтная ПУ «ОС» межконтинентальной баллистической ракеты УР-100: 1 – вход в пусковую установку; 2 – тамбур; 3 – защитное устройство; 4 – оголовок ШПУ; 5 – ствол ШПУ; 6 – ракета УР-100; 7 – транспортно-пусковой контейнер; 8 – газоотражательное устройство



Траектория полета баллистической ракеты



Шахтная пусковая установка ракеты УР-100К

Ракетный противолодочный крейсер «Москва»

должаются и сейчас, документация готовится к передаче в производство, а комплексы оружия, где они размещаются в настоящее время, – к принятию на вооружение. Наработанный в ядерных испытаниях 1977–1990 годов задел позволяет даже в условиях действия Договора о полном прекращении ядерных испытаний создавать, при необходимости, новые комплексы оружия.

Прогресс в создании межконтинентальных баллистических ракет инициировал во ВНИИЭФ работы в области отечественной противоракетной обороны. Работы эти велись поэтапно, соответственно техническому уровню средств ракетного нападения. Первый период характеризуется созданием противоракет и их оснащения, обладающих возможностью надежного поражения моноблочных головных частей (ГЧ). Важнейшей компонентой совершенствования ПРО являлось создание специализированных зарядов для этой системы. В начале работы концентрировались, в основном, на создании зарядов, которые поражали бы моноблочные ГЧ рентгеновским излучением. Во ВНИИЭФ работы по зарядам для ПРО были инициированы Е. М. Рабиновичем при активной поддержке Ю. Б. Харитона. Необходимо отметить, что эта деятельность велась в весьма жесткой конкурентной борьбе с коллективом ВНИИТФ, где значительных успехов добились Ю. А. Романов, В. Розанов, Ю. Диков.

Первым зарядом, разрабатывавшимся во ВНИИЭФ для ПРО в начале 60-х, был рентгеновский заряд с жестким спектром рентгеновского излучения (РИ). Экспериментальный его вариант испытывался на Новоземельском полигоне. Испытания прошли успешно как в части работы самого заряда, так и в осуществлении необходимого комплекса измерений РИ. В КБ-1 ВНИИЭФ эти работы проходили под руководством Е. Д. Яковлева, К. Г. Рабинович, Б. П. Захарова, Л. А. Бойко, В. В. Терновского.

Оснащение военно-морских ядерных сил США разделяющимися ГЧ, способными соединяться в многоэлементные баллистические цели, состоящие из боеголовок и ложных целей для прорыва системы ПРО, поставило перед разработчиками отечественной ПРО новые задачи: наша система должна была с высокой вероятностью нейтрализовать боеголовки в составе сложной баллистической цели, включающей до 10 боеголовок, прикрытых дополнительно дипольным отражателем, легкими и тяжелыми ложными целями. Важнейшей компонентой совершенствования системы противоракетной обороны являлось создание специализированных зарядов для нее.

По мере усложнения задач (главным образом, с появлением разделяющихся ГЧ) от разработчиков потребовалось при обеспечении радиусов поражения цели в несколько сотен метров кардинально уменьшить мощность взрыва для наведения противоракеты на цель в условиях множественных взрывов ядерных зарядов других противоракет. Этим задачам в наибольшей степени отвечали заряды, специализированные по поражению БГ нейтронами, а также рентгеновским излучением. Решению этих задач в значительной степени способствовало оснащение вычислительного комплекса ВНИИЭФ ЭВМ нового поколения, позволяющими проводить более сложные теоретические расчеты. За творческое участие в создании зарядов ПРО и ПВО сотрудники КБ-1 ВНИИЭФ были удостоены званий лауреатов Государственной премии.

Важнейшее направление

Выше рассказывалось преимущественно о разработках, выполненных в КБ-1 ВНИИЭФ. Но, говоря о ядерном оружии, нельзя не упомянуть о том, что параллельно с созданием разнообразных боеприпасов разрабатывались необходимые для их функционирования системы автоматики. В КБ-2 ВНИИЭФ были выполнены многие уникальные разработки этого направления. Упомянем здесь только две из них: импульсный нейтронный инициатор (система ИНИ), который с 1955 года применяется практически во всех ядерных боеприпасах; и высокоточный радиодатчик, обеспечивающий воздушный подрыв заряда в условиях, когда вероятный противник создает, например, мощные радиопомехи. Разработка этого датчика инициировала создание целого ряда аналогичных приборов в специальном проектном институте Минатома РФ. А еще были сконструированы, испытаны и отлажены:

– уникальные по точности временные устройства, имеющие принципиальное значение для перехвата целей системами ПВО и ПРО;

– несколько поколений автономной системы неконтактного подрыва;

– система, обеспечивающая неоднократное переключение в полете мощности взрыва ядерного заряда на траектории в зависимости от целевой обстановки;

– устойчивые ударные датчики, обеспечивающие быстродействие подрыва ядерного заряда при встрече с практически любой возможной преградой во всем возможном диапазоне скоростей и углов подхода к цели;

– адаптивная система автоматики подрыва, обеспечивающая подрыв ядерного заряда с максимальной боевой эффективностью у цели.

Эта многогранная, многопрофильная деятельность являлась очень важной составляющей всего комплекса работ по созданию ядерного щита страны. На 2-й конференции разработчиков ядерного оружия Ю. И. Файков, с 1999 года начальник КБ-2 ВНИИЭФ, говорил: «Характерно, что создание всех составляющих ядерного оружия: заряда, приборов систем автоматики и подрыва, корпусов ядерного боеприпаса, носителей, систем их управления, стартов, полигонов, средств испытаний, измерений для отработки ядерного оружия – проводилось одновременно. Важно подчеркнуть, что при этом работа велась активно и творчески. Инициативу проявляли и военные, и ракетчики, и ядерщики».

Ю. И. Файков

Е. Д. Яковлев

Создание зарядов для нестратегического ядерного оружия

К концу 50-х годов атомный подводный флот США стал представлять реальную угрозу для СССР, и руководство нашей страны приняло программу развития противолодочной обороны. Были спроектированы и построены противолодочные крейсеры «Москва» и «Ленинград», а несколько позже – более крупные корабли «Киев», «Минск» и «Новороссийск». Для вооружения этих кораблей флоту потребовалась противолодочная пороховая ракета с ядерной головной частью. Эта ракета, получившая название «Вихрь», имела дальность полета ~ 25 км, после приводнения должна была уйти на глубину до 200 м и там подрываться. Особенностью новой раз-

работки был момент приводнения, когда ракета и ее головная часть испытывали удар с перегрузкой до 800g.

Разработчикам ВНИИЭФ, которым поручалось оснащение новой ракеты атомным зарядом, предстояло решить ряд принципиально новых задач, связанных с обеспечением динамической прочности конструкции атомного заряда. Это была пионерская работа, выполненная в широкой кооперации с другими научно-исследовательскими учреждениями и многими подразделениями ВМФ. Программа отработки заряда предусматривала имитационные сбросы ракеты с самолета, а также прямые пуски в акватории морского полигона. Было проведено около 40 испытаний, которые завершились зачетными пусками ракет «Вихрь» с противолодочного крейсера «Москва» в 1965 году. Ударостойкая конструкция атомного заряда была настолько универсальной, что в некоторой модификации этот заряд был применен в первой авиационной глубинной бомбе РБ-2, а также в противолодочной ракете «Вьюга» с подводным стартом из торпедного аппарата погруженной подводной лодки. За работы по созданию морского комплекса ядерного оружия – противолодочной пороховой ракеты «Вихрь» с атомным зарядом – сотрудники ВНИИЭФ В. А. Белугин и О. Г. Моряков, а также группа специалистов-разработчиков из ВНИИА были удостоены званий лауреатов Государственной премии.

В 1963 году по инициативе руководства армии принимается решение о создании ракетного комплекса батальонного звена, оснащенного ядерным боезапасом. Комплекс, получивший название «Резеда», предназначался для поражения живой силы и бронетехники противника в непосредственной близости к переднему краю. Для выполнения возлагаемых на комплекс задач, вытекающих из условий его применения и эксплуатации, заряд, наряду с небольшим уровнем мощности, должен был удовлетворять ряду требований, в том числе обладать высокой стойкостью к сотрясению при выстреле. Поставленные задачи были успешно решены, комплекс встал на вооружение.

Создание зарядов с регулируемой мощностью для систем нестратегического морского оружия и КР ВВС явилось ответом на наращивание США морской компоненты вооруженных сил и принятия на вооружение комплекса авиационного базирования «СРЭМ». В рамках этих задач ВНИИЭФ был предложен и отработан оригинальный и эффективный метод переключения мощности термоядерных зарядов во время движения ракеты по траектории. Этот метод послужил основой для создания зарядов, позволяющих адаптировать поражающие характеристики оружия к условиям боевого применения.

Высокий уровень боевых и компоновочных характеристик зарядов ВНИИЭФ, их надежность и безопасность позволили создать современное боевое оснащение для комплексов:

– противолодочной обороны «Вихрь», «Вьюга», «Раструб», «Ветер», «Водопад»;

– торпед калибра 533 мм и 650 мм различных поколений, торпеды «Шквал»;

– авиационных комплексов типа Х-22 всех модификаций, Х-15, Х-58, Х-59;

– комплексов СВ «Темп-С», «Точка», «Точка-У»;

– авиационного комплекса класса «воздух-воздух» К-33С.

Испытания боевого блока на скоростной ракетной трассе РФЯЦ-ВНИИЭФ

Созданный задел зарядов этого класса позволяет успешно решать все новые задачи по повышению эффективности, надежности и безопасности нестратегического ядерного оружия в современных условиях.

Развитие работ по управлению ядерным боезапасом на современном этапе

На протяжении всей истории советского атомного проекта ВНИИЭФ принадлежала лидирующая роль в создании и укреплении ядерного щита государства. И на нынешнем этапе руководители и специалисты ВНИИЭФ в полной мере осознают свою ответственность за формирование технической политики по управлению ядерным боезапасом. Основной целью работ последнего времени является обеспечение ядерного сдерживания в условиях современного мира и при возможных вариантах развития ситуации.

После 1990 года коллектив ВНИИЭФ работает над следующими проблемами:

1. Продление сроков гарантии ядерных зарядов. Эта работа необходима для поддержания на необходимом количественном уровне ядерного арсенала страны, поскольку объем их выпуска в течение последних пятнадцати лет резко сократился. В рамках этой задачи тщательно исследуется возможность расширения эксплуатационных ресурсов узлов из взрывных составов, делящихся материалов, органопластов до 30 и более лет; по-новому решаются вопросы защиты от коррозии.

2. Формирование ограниченной номенклатуры ядерных зарядов для современного и перспективного боезапаса. По этому направлению выполняется обширная программа, которая включает в себя немало сложных задач. В них входят такие актуальные темы:

а) расчетно-теоретическое и экспериментальное изучение функциональных характеристик зарядов на основе современных физических моделей и газодинамических установок;

б) разработка и внедрение решений, которые позволят отобрать для пополнения боезапаса ядерные заряды, обладающие определенными качествами. Эти «избранные» заряды должны отличаться:

– функциональными свойствами, строго согласованными с параметрами цели для снижения сопутствующего ущерба;

– высокой надежностью и экспериментально подтвержденной устойчивостью характеристик к отклонению от номинальных параметров при изготовлении и эксплуатации;

– высоким уровнем ядерной взрывобезопасности, в том числе и групповой;

– возможностью адаптации поражающих характеристик к типу цели и уровням промахов.

Особое значение в обеспечении надежности зарядов имеют работы ВНИИЭФ по созданию систем, позволяющих стабилизировать «бустерный» режим в течение срока гарантии.

3. Повышение эксплуатационной безопасности зарядов и их безопасности при несанкционированных действиях. Во ВНИИЭФ по данному направлению выполняются широкомасштабные работы следующего содержания:

– изучение и использование всех современных возможностей характеристик ЯВБ боезапаса ядерных зарядов, демонтаж тех из них, которые не отвечают самым высоким требованиям;

– оснащение ядерных зарядов дополнительными устройствами и системами, повышающими их безопасность в процессе эксплуатации;

– введение в конструкцию заряда дополнительной защиты, повышающей его устойчивость к действию аварийных факторов;

– создание и внедрение защитных контейнеров, обеспечивающих уровень требований МАГАТЭ при транспортировке и хранении ядерных зарядов и их узлов;

– исключение из боезапаса зарядов с большими массами взрывчатых составов;

– создание и внедрение комплекса устройств, оборудования и технологии, обеспечивающих возможность обращения с зарядами при гипотетических авариях.

4. Изучение проблем создания возвратного потенциала ядерных зарядов и ядерных боеприпасов для поддержания ядерного арсенала в обозримой перспективе на должном уровне.

Успешное выполнение работ по указанным направлениям гарантирует поддержание отечественного ядерного арсенала на высоком качественном уровне и сохранение критических технологий в области создания ядерных зарядов, что должно обеспечить безопасность границ нашей страны сегодня и в будущем.

Au
Ch
Au

Институт теоретической и математической физики

ФИЗИКИ-ТЕОРЕТИКИ ВНИИЭФ (1956–1986 гг.)

За прошедшие десятилетия физиками и математиками выполнен колоссальный объем работы. По вполне понятным причинам нет возможности упомянуть обо всех участниках этой гигантской работы, направленной на создание ядерного щита России.

Успешное испытание РДС-37 заложило основы проектирования последующей серии разработок и испытаний, необходимых для создания надежного ядерного щита нашей страны.

Повышение удельной (на единицу массы) мощности заряда при сокращении его массы и габаритов позволило существенно сократить массу носителей зарядов. Новые разработки стали возможными лишь после проведения сложнейших расчетов и лабораторных экспериментов. Обоснование и реализация новых качественных и количественных характеристик потребовало от разработчиков большой изобретательности и высокой квалификации.

Творческими коллективами физиков во ВНИИЭФ руководили ученые с мировыми именами, выдающиеся специалисты в различных направлениях ядерной физики. В 1952 году, когда были образованы теоретические сектора 1 и 2, их возглавили Я. Б. Зельдович и И. Е. Тамм.

После возвращения Игоря Евгеньевича в Москву (1953 г.) теоретиками сектора 2 стал руководить А. Д. Сахаров. В октябре 1965 года, когда Я. Б. Зельдович уехал в Москву, а А. Д. Сахаров

Две фазы взрыва термоядерного заряда РДС-37

также выразил желание вернуться в ФИАН СССР, два теоретических сектора ВНИИЭФ были объединены в один. Руководителем коллектива теоретиков стал член-корреспондент АН СССР Ю. А. Трутнев. В марте 1969 года, в связи с необходимостью обратить особое внимание на задачи противоракетной обороны (ПРО), на базе некоторых отделов секторов 1 и 4 вновь образуется теоретический сектор 2. Его возглавил Ю. А. Романов, вернувшийся из ВНИИТФ, где он работал с 1955 года.

В 1999 году в целях повышения эффективности решения научно-технических задач приказом директора РФЯЦ-ВНИИЭФ был создан Институт теоретической и математической физики, который объединил теоретические и математическое подразделения.

Директором ИТМФ был назначен В. П. Незнамов.

В настоящее время в состав ИТМФ входят:

– отделение 01 (начальник отделения В. А. Устиненко);
– отделение 02 (начальник отделения В. Ф. Рыбаченко);
– отделение 64 (начальник отделения А. И. Харченко);
– отделение 08 (начальник отделения Р. М. Шагалиев);
– самостоятельный отдел 29 (начальник отдела А. К. Чернышев).

Обозначим некоторые важные этапы работы физиков-теоретиков ВНИИЭФ в период 1956–1986 годов.

Совершенствование первичных узлов термоядерных зарядов

Для создания двухступенчатых термоядерных зарядов выход потока излучения из первичного атомного заряда необходимо было повысить до уровня, достаточного для радиационной имплозии термоядерного узла.

Для этого при испытании РДС-37 и в ряде последующих испытаний термоядерных зарядов в конструкциях применялись материалы, более прозрачные для радиации.

В дальнейшем для повышения энерговыделения атомных зарядов и сохранения их работоспособности в условиях сопутствующих ядерных взрывов использовался «бустерный» режим горения первичного заряда и специальные схемные решения, приводящие к одностороннему выходу излучения и снижению факторов взрыва первичного заряда, не являющихся необходимыми для термоядерного узла. Принимались меры по повышению стойкости заряда к действию поражающих факторов ядерного взрыва.

Во ВНИИЭФ были успешно выполнены работы по миниатюризации конструкции первичных зарядов, что явилось важным шагом в улучшении компоновочных характеристик боевых блоков в целом.

Наибольший вклад в развитие данного направления внесли Б. Д. Бондаренко, Л. А. Владимиров, Р. И. Илькаев, Б. Н. Краснов, В. Н. Михайлов, В. Г. Морозов, В. П. Незнамов, Л. И. Огнев, Н. А. Самохвалов, В. П. Феодоритов, Н. А. Попов.

Корпус бомбы РДС-37. Музей ядерного оружия РФЯЦ-ВНИИЭФ

Совершенствование конструкции термоядерного узла

Прототипом термоядерного узла является заряд РДС-37. Задача усовершенствования зарядов этого типа состояла в том, чтобы обеспечить радиационную имплозию при уменьшении габаритных характеристик заряда в целом. Это достигалось путем оптимизации конструкционных схем заряда, варьированием различных материалов, используемых при его изготовлении, а также коррекцией внутренних элементов конструкции термоядерного узла. Здесь необходимо отметить вклад Ю. Н. Бабаева и Ю. А. Трутнева, предложивших и обосновавших принципиальное изменение физической схемы, которое определило дальнейший путь создания бинарных термоядерных зарядов.

Создание новых зарядов требовало проведения многочисленных испытаний. Они проходили на Семипалатинском полигоне и на Новой Земле, где в 1961 году был испытан заряд рекордной мощности – 52 Мт в тротиловом эквиваленте.

Одной из основных характеристик термоядерного заряда является его удельная мощность. Этот важный показатель (при сохранении массогабаритных характеристик) был улучшен за счет увеличения количества делящегося материала в конструкции термоядерного узла. Определяющий вклад здесь принадлежит Г. А. Гончарову.

При боевом применении дополнительные возможности боевого блока обеспечивались путем использования механизма переключения мощности термоядерного узла.

Исследовался и способ активизации термоядерных реакций путем усложнения конструкции термоядерного узла. Так, в конце 60-х годов была начата длительная и интенсивная программа разработки зарядов с принципиально новой схемой основного отсека.

Переход на конические боевые блоки, ставший возможным после создания узкомидельных зарядов, улучшил компоновку заряда в ракете.

Ю. А. Романов

В. П. Незнамов

Ядерные средства противоракетной (ПРО) и противовоздушной (ПВО) обороны

Одновременно с развитием средств ядерного нападения возникла проблема защиты от ракетно-ядерного удара.

В начале 50-х годов исследовалась возможность поражения баллистических целей на заатмосферном эшелоне перехвата. Как показала проектная проработка предназначенной для решения этой задачи системы А-35, противоракеты с ядерной боеголовкой обеспечивали поражение одиночной баллистической цели. Поражение осуществлялось излучением специализированных зарядов с повышенным выходом рентгеновского излучения высокой жесткости.

В это же время стали развиваться и средства противодействия системам ПРО и ПВО в виде тяжелых и легких ложных целей и дипольных отражателей, селекция которых в заатмосферном эшелоне была невозможной.

Началось проектирование двухэшелонной системы ПРО А-135, в которой основная задача перехвата осуществлялась в атмосферном эшелоне, где ложные цели селектируются естественным образом, т. е. самой атмосферой. Для этого эшелона наиболее эффективными оказались нейтронные заряды, которые были созданы и испытаны.

Б. Д. Бондаренко

В. Г. Заграфов

В. Г. Морозов

При этом сохранялись и осколочные противоракеты, эффективность поражения которыми хотя и была ниже, чем ядерными, но не требовала нахождения на боевом дежурстве вблизи обороняемых объектов снаряженных ядерных боеголовок.

Ядерные противоракеты использовались и в интересах ПВО.

Исследование вопросов преодоления ПРО

Для проверки стойкости ядерных боеголовок стратегического назначения проводились облучательные эксперименты при подземном взрыве источника облучения. В этих опытах за счет использования специальной защитной установки, созданной в институте, и разнообразных средств защиты от сейсмического воздействия удалось расположить элементы вооружений и военной техники на дневной поверхности в большом «световом пятне».

Теоретики внесли заметный вклад и в создание специальных защитных камер, которые использовались в облучательных опытах, а сейчас являются неотъемлемой частью обеспечения безопасности полигонных испытаний.

Разработаны и испытаны специальные источники рентгеновского и нейтронного излучения небольшой мощности. Разработан специальный заряд типа «Недотрога», затрудняющий функционирование системы ПРО противника.

После 1955 года разработаны и испытаны:

– автономные ядерные заряды с бустерным режимом горения;

– ядерные заряды, высокоэкономичные по затратам делящихся материалов и удовлетворяющие повышенным требованиям безопасности при хранении и боевом применении;

– нейтронные заряды повышенной чистоты по радиоактивности.

Промышленные заряды

Для использования в мирных целях (большеобъемные вскрышные работы, тушение пожаров в скважинах и т. д.) были созданы заряды, обладающие повышенной чистотой при взрыве за счет подавления реакции деления и уменьшения образования радиоактивных осколков. Такие заряды успешно применялись для решения ряда важных задач различных отраслей народного хозяйства страны.

В 1965 году таким зарядом было создано искусственное озеро Чаган на Семипалатинском полигоне.

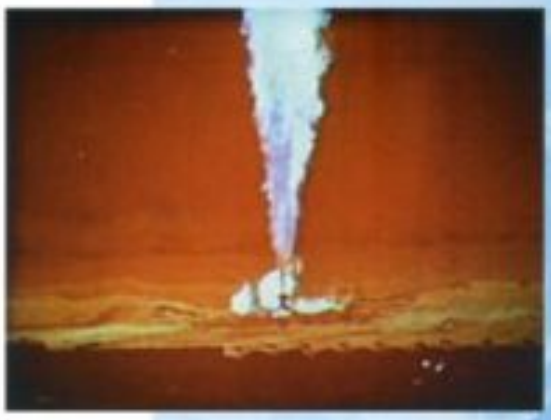
Ядерные заряды малого миделя и повышенной жаропрочности использовались для тушения пожаров в нефтяных и газовых скважинах. В 1966 году зарядом, специально созданным для этой цели, был потушен газовый факел на месторождении Урта-Булак (Узбекистан).

Необходимо отметить, что во ВНИИЭФ успешно проводились работы в интересах создания оружия на новых физических принципах, в частности, исследовалась возможность создания рентгеновского лазера с накачкой от ядерного взрыва.

Самая мощная в мире водородная бомба. Испытана 30 октября 1961 г.

Возле самой большой бомбы: В. Б. Адамский, Ю. А. Трутнев, Ю. Н. Смирнов

Спуск ядерного заряда в скважину для гашения газового факела



Газовый факел, Урта-Булак, 1966 г.

РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДИК И ПРОГРАММ ВО ВНИИЭФ

Арифмометр «Феликс»

Клавишная вычислительная машина «Мерседес»

Н. Н. Боголюбов

С. А. Авраменко

Разработка ядерного оружия – это сложная система взаимодействия нескольких научных дисциплин. К ним прежде всего относятся теоретическая и экспериментальная физика и вычислительная математика. Ряд параметров, необходимых для создания ядерного заряда, является следствием лабораторных экспериментов, другая их часть, не менее важная, получена путем математических расчетов. Модель явления в целом – это итог работы большого коллектива ученых. И наконец, натурный эксперимент, который не только позволяет проверить истинность тех или иных физико-математических моделей, расчетов и опытов, но и дает множество новой информации о процессах, имеющих место при ядерном взрыве.

Из этой цепи нельзя изъять ни одно звено. Поэтому руководители КБ-11 с самого начала работы уделяли большое внимание развитию всех направлений, в том числе и вычислительной математике.

Перед математиками ВНИИЭФ стояла задача создания численных методов и программ для расчета на ЭВМ физических процессов, которые имеют место при работе ядерных зарядов, и детальное знание которых определяло успех работы физиков-ядерщиков. Необходимо было рассчитывать системы уравнений газовой динамики с учетом и без учета теплопроводности, системы уравнений переноса излучения, нейтронов, кинетики ядер, энерговыделения. Важной задачей являлось определение критических параметров (λ) рассчитываемых систем.

Первые образцы атомного оружия разрабатывались в конце 40-х – начале 50-х годов, когда в СССР еще не было электронных вычислительных машин. Расчеты выполнялись на клавишных механических и электромеханических настольных машинах типа «Арифмометр» и «Мерседес». Появление и необходимость дальнейшего совершенствования ЭВМ в значительной мере определялись трудностями решения задач, которые ставились разработчиками атомного оружия.

Безусловно, на работу советских математиков оказали влияние открытые публикации американских ученых, связанные с атомной проблематикой. Большое значение имел тот факт, что уровень развития советской вычислительной техники был низким. Эффективные методики и программы должны были компенсировать это отставание.

До 1948 года все математические работы по ядерной тематике проводились за пределами ВНИИЭФ. Ими занимались, прежде всего, в отделении прикладной математики МИАН СССР (ОПМ, позже ИПМ) под руководством академика М. В. Келдыша, в Ленинградском отделении Математического института им. Стеклова под руководством д-ра физ.-мат. наук Л. В. Канторовича, в Институте физических проблем под руководством академика Л. Д. Ландау, Геофизической лаборатории под руководством члена-корреспондента АН СССР А. Н. Тихонова.

С 1948 года, после создания в КБ-11 первой математической группы, преобразованной в 1950 году в отдел, математические работы по ядерной тематике сосредотачиваются во ВНИИЭФ.

Эксплуатация ЭВМ «Стрела» (1957–1959)

Одни из первых сотрудниц математического отделения: Рита Рощина, Фая Романова, Аля Рюмина, Лена Малиновская, Валя Петухова, Белла Потугина

Вначале ЭВМ «Стрела» использовалась для расчета некоторых одномерных задач. В ОПМ были заимствованы методы и программы, разработанные под руководством выдающихся математиков – И. М. Гельфанда, А. Н. Тихонова, А. А. Самарского, А. И. Жукова.

Надежность ламповых ЭВМ, в том числе «Стрелы», была невысокой, поэтому для уверенности в правильности результатов делалось два просчета, а при несовпадении контрольных сумм выполнялся и третий. Сложные и срочные расчеты выполнялись, как правило, в присутствии математиков.

Заимствованные программы обладали явно невысокими эксплуатационными характеристиками, и многочисленные (в соответствии со спецификой КБ-11) расчеты по ним требовали от инженеров-математиков больших усилий по обслуживанию программ. Стало ясно, что необходимо упростить подготовку и запуск задач в счет, научиться быстро ликвидировать аварийные остановы (авосты), овладеть программной обработкой результатов счета и т. д.

1957–1959 – ЭВМ «Стрела», 2 тыс. операций в секунду

По этой причине в отделении развернулись работы по созданию собственных методик и программ, ориентированных на массовый счет задач. Эта особенность явилась главной чертой рассматриваемого периода.

В соответствии с разработками ОПМ программы расчета уравнений газовой динамики обозначались символом Б, уравнений газовой динамики с учетом теплопроводности – И, переноса излучения в геометрически сложных областях – И-0, процессов энерговыделения – КПД. Эта символика сохранилась и в дальнейшем.

И. М. Гельфанд

Наиболее важным достижением рассматриваемого периода стала разработка Н. А. Дмитриевым, Е. В. Малиновской и И. Д. Софроновым программы Д расчета двумерных уравнений газовой динамики в переменных Лагранжа. По ней был проведен ряд интересных расчетов, уникальных для того времени.

Принципиально новой разработкой (как по выбору разностных схем, так и по организационному строению) явилось создание Н. А. Дмитриевым программы И-332 расчета одномерных уравнений газовой динамики с учетом теплопроводности. Эта программа широко использовалась на ЭВМ «Стрела» для счета производственных задач.

С. К. Годунов

Большие успехи были достигнуты в разработке методов и программ расчета критических параметров λ. Первые программы для расчета λ были разработаны под руководством Е. В. Малиновской на основе метода характеристик В. С. Владимирова. В то же время С. К. Годуновым был разработан метод сферических гармоник, и на этой основе под руководством И. А. Адамской в КБ-11 был создан комплекс программ, по которому одногрупповые расчеты проводились оперативно и с любой заданной точностью. В последующие годы массовые расчеты λ во ВНИИЭФ велись преимущественно методом сферических гармоник.

В период эксплуатации ЭВМ «Стрела» Н. А. Дмитриев положил начало развитию ряда научных направлений. В частности, для решения нейтронных задач стал применяться метод Монте-Карло. В дальнейшем серьезные результаты в этом направлении были получены Ю. Н. Кондюриным и А. Н. Субботиным.

Работа на ЭВМ «Стрела» для большинства математиков ВНИИЭФ оказалась очень хорошей школой. Молодые специалисты приобрели достаточный опыт в проведении расчетов по заказам физиков-теоретиков, многие выполнили свои первые работы по созданию новых методик и разработке программ. Этому способствовал ряд обстоятельств: наличие заказов на разработки, тесное общение с заказчиками, поддержка руководства института и, главное, – все полученные результаты тут же использовались в натурных испытаниях.

Невозможно назвать всех участников работы отделения в этом направлении, и авторы приносят свои извинения тем, чьи фамилии не упомянуты в данной статье. Но некоторых назвать просто необходимо. Например, В. Г. Подвальный, В. Е. Трошиев, Ю. А. Дементьев внесли большой вклад в развитие программ И, И. В. Потугина, В. А. Елесин, И. Н. Луковкина, В. А. Сараев – в разработку программ КПД, Ю. П. Глаголева – в автоматизацию программирования, А. И. Соколова – в разработку газодинамических программ, И. Ф. Шарова и А. А. Чернова – в разработку программ расчета критических параметров.

А. А. Самарский

А. Н. Тихонов

Н. Н. Яненко

И. А. Адамская

Эксплуатация ЭВМ М-20 (1959–1966)

Основу машинного парка КБ-11 в то время составляли ЭВМ М-20, значительно более мощные и надежные, чем «Стрела».

После установки первой ЭВМ М-20 математики довольно быстро исчерпали ее ресурс. Руководству института пришлось быстро приобретать вторую, а затем и третью машины. Однако вычислительных мощностей по-прежнему не хватало, и инженеры отделов ЭВМ своими силами продолжали совершенствовать машину, в частности удвоили оперативную память.

Достаточно высокая надежность ЭВМ М-20 позволила перейти к счету задач в один просчет, однако сложные и срочные расчеты требовали, как и ранее, присутствия математиков в машинных залах.

Главные достижения рассматриваемого периода:

– сложилась одномерная технология расчетов, т. е. все изделия обсчитывались по достаточно стабильно работающим одномерным программам;

– основная масса расчетов проводилась по программам, разработанным сотрудниками математического сектора КБ-11;

– разработаны комплекс программ И-335, восьмигрупповая программа КПД, программа СИГМА – первая во ВНИИЭФ программа расчета двумерных течений теплопроводного газа.

Для машин М-20 сотрудники отделения 08 разработали новые программы, отвечающие запросам разработчиков изделий. Были созданы программы расчета λ в одно- и многогрупповом приближениях.

Следует отметить, что расчеты одномерных задач газовой динамики с учетом теплопроводности с самого начала проводились по программам, разработанным в отделении 08 ВНИИЭФ.

Сотрудники отдела И-0 во главе с И. Я. Пламеновым

Еще до запуска первой М-20 математики отделения под руководством И. Д. Софронова написали программу И-333. Отлаживали ее сотрудники КБ-11 в ИПМ, в Москве. Затем на базе программы И-333 тот же коллектив, в который вошел и Ю. А. Дементьев, разработал комплекс программ И-335 – первый комплекс производственных программ во ВНИИЭФ. В нем были заложены все основные принципы построения комплексов программ, используемые до настоящего времени.

Большое внимание «одномерщики» в рассматриваемый период времени уделяли вопросам автоматизации выбора расчетной сетки и передачи данных из одной программы в другую, возможности проведения расчетов без авостов, формирования выдачи результатов в удобной для анализа форме.

На М-20 велась интенсивная работа по созданию двумерных методик и программ. Большие успехи были достигнуты группой сотрудников, возглавляемых Е. В. Малиновской. До 1965 года двумерные газодинамические расчеты велись по созданным этой группой вариантам программы Д. Затем руководство разработкой двумерных программ было передано приехавшей из НИИ-1011 Л. В. Дмитриевой.

1959–1967 – ЭВМ М-20, 20 тыс. операций в секунду

Большим достижением в те годы явилась разработка под руководством В. Л. Загускина первой во ВНИИЭФ двумерной программы СИГМА для расчета газодинамических течений с учетом теплопроводности. При этом использовалась двойная память одной из ЭВМ М-20.

Сотрудники сектора 8 создали несколько собственных программ по расчету критических параметров по различным методикам (авторы методик Е. В. Малиновская, С. К. Годунов, И. А. Адамская и другие).

В 1959 году И. Д. Софроновым была организована первая математическая конференция ВНИИЭФ и ВНИИТФ. Позже такие конференции стали регулярными, в них принимали участие сотрудники ИПМ, Института математики и механики Уральского отделения АН СССР и других институтов страны.

Благодаря возникшим постоянным контактам математические коллективы обоих ядерных центров стали развиваться в тесном взаимодействии, систематически обмениваясь научно-производственной информацией.

Математические разработки на ЭВМ БЭСМ-6 (1966–1981)

1967–1991 – ЭВМ «БЭСМ-6», миллион операций в секунду

1978–2000 – ЭВМ «ЕС-1066», 5 млн. операций в секунду

В этот период времени основу вычислительной базы отделения 08 ВНИИЭФ составляли ЭВМ БЭСМ-6. Наряду с ними вначале еще работали машины М-20, БЭСМ-3, БЭСМ-4, импортная машина G-427. В 1978 году начали поступать ЭВМ серии ЕС, а затем первая мультипроцессорная ЭВМ «Эльбрус-1-2К».

С приходом БЭСМ-6 стало интенсивно развиваться системное программное обеспечение, ЭВМ и внешние устройства дорабатывались, чтобы удовлетворять возросшие потребности в обработке и представлении расчетов. Поэтому в дополнение к отделам, ответственным за эксплуатацию и совершенствование ЭВМ (Н. Н. Абрамов, А. И. Лукин, В. И. Игрунов), в 70-х годах были образованы системный отдел В. М. Кухтина, обеспечивающий сопровождение, развитие и разработку системного программного обеспечения, и сетевой отдел Э. Л. Шнепова, ответственный за создание сети доступа к вычислительным ресурсам с удаленных рабочих мест, оборудованных терминальными устройствами.

Были созданы службы, чтобы организовать работу на разнородных ЭВМ и упорядочить возрастающий поток разнообразных методик, программ и расчетов. Математики к работе в машинных залах больше не привлекались.

В этот период времени:

– в программировании перешли от машинно-ориентированных языков к языкам высокого уровня;

– разработан одномерный комплекс (ОК) для решения всей совокупности одномерных задач;

– резко возросло число двумерных методик и программ, созданы двумерные технологии расчетов, при которых каждое изделие рассчитывается по двумерным программам;

– разработаны первые двумерные программы, использующие нерегулярные расчетные сетки;

– разработан комплекс программ ТУ-201 для расчета двумерных процессов энерговыделения;

– создана операционная система ДИСПАК-ВНИИЭФ, позволившая считать задачи в режиме параллельных вычислений на комплексе машин БЭСМ-6.

В первые годы работы БЭСМ-6 был осуществлен перевод программ с М-20 на новые машины. Это была отнюдь не механическая операция: во время подготовки программ улучшались их эксплуатационные качества, совершенствовались методики, повышалась точность расчетов. Был разработан комплекс программ, в которых объединялись возможности нескольких программ, организована связь программ, обеспечивающая непрерывный переход от счета по одной программе к счету по другой; были и другие достижения. Так, под руководством С. В. Баженова и Б. П. Тихомирова были созданы комплексы программ, объединившие расчеты задач И-0 с секторными расчетами И; под руководством И. А. Адамской – комплексы программ, обеспечивающие счет критических параметров одновременно с газодинамическими расчетами; под руководством И. В. Потугиной – комплексы программ КПД с непрерывным переходом от расчета стадии обжатия к расчету стадии набора поколений и затем к стадии энерговыделения; под руководством И. Ф. Подлива-

1980–2000 – 10-процессорный комплекс ЭВМ «Эльбрус», 120 млн. операций в секунду

ева и А. Н. Субботина – комплекс программ для решения методом Монте-Карло линейных задач переноса.

Программирование в первые годы велось в кодах ЭВМ, так как при таком подходе удавалось создавать наиболее эффективные программы и заметно экономить оперативную память. Однако создание таких программ требовало много усилий от математиков, да и программы получались менее эффективные. В 1972 году по инициативе начальника отделения И. Д. Софронова было принято решение о переходе к программированию на языках высокого уровня. Решение это было важным и своевременным, поскольку машинный парк ВНИИЭФ пополнялся ЭВМ разного типа и резко возросло число разрабатываемых программ.

Под руководством И. Д. Софронова был разработан одномерный комплекс, в основу структуры которого легло деление на сервисную систему и счетные модули. Все одномерные программы были написаны на языке Фортран и включены в ОК в качестве счетных модулей. Сервисная система выполняла общие для всех модулей вспомогательные функции (руководитель М. И. Каплунов).

ОК в значительной мере упростил обмен информацией между программами, внесение в них изменений и облегчил перевод программ на ЭВМ новых классов.

В середине 70-х годов потребности института в одномерных расчетах были полностью удовлетворены. Продолжалась работа по совершенствованию физико-математических моделей и методов расчета одномерных задач; стало возможным рассчитывать ряд новых физических процессов: упругопластичность, детонацию, спектральный перенос излучения, турбулентное перемешивание и т. д.

На ЭВМ БЭСМ-6 резко возросло число двумерных методик и программ и сложилась двумерная технология проведения расчетов.

Основной программой расчета двумерных течений теплопроводного газа являлся комплекс СИГМА (руководители разработки – В. Л. Загускин и В. А. Сараев). На базе этого комплекса созданы методики и программы расчета процессов упругопластичности, трехтемпературности, магнитной гидродинамики, турбулентности. Под руководством С. М. Бахраха были разработаны методы и программы расчета двумерных течений в эйлеровых и эйлерово-лагранжевых координатах, а также развит метод концентраций.

Интенсивный счет задач проводился по комплексу Д, разработанному под руководством Л. В. Дмитриевой и включавшему расчет теплопроводности.

В 1972 году группа активных разработчиков двумерных методик и программ, работавших во ВНИИЭФ, ВНИИТФ и ИПМ, была награждена Государственной премией СССР.

Наряду с собственными двумерными программами СИГМА и Д на ЭВМ БЭСМ-6 успешно развивались заимствованные в ИПМ и ВНИИТФ программы Б-71 и ТИГР. Развитие комплекса ТИГР во ВНИИЭФ выполнялось под руководством В. Н. Исаева.

В середине 60-х годов И. Д. Софроновым впервые была высказана идея о перспективности использования в двумерных расчетах нерегулярных сеток, поскольку в ряде случаев они имеют существенные преимущества перед регулярными. В частности, их искажения в процессе счета задач не столь значительны.

Под руководством И. Д. Софронова во второй половине 60-х годов успешно развивались два направления нерегулярных методик: МЕДУЗА и ДМК, отличающиеся методами расчета и способами

сохранения выпуклости ячеек сетки. Первое направление возглавлял И. Ф. Подливаев, второе — В. В. Рассказова и Н. А. Попов.

Большим достижением математиков ВНИИЭФ стала разработка под руководством В. Е. Трошиева комплекса программ ТУ-201 для расчета двумерных задач энерговыделения. Для расчета уравнений газовой динамики и теплопроводности в нем использовались программы комплекса СИГМА, для расчета процессов переноса нейтронов, кинетики ядер были разработаны новые методы, основанные на теоретических работах И. Д. Софронова, В. Е. Трошиева, В. Я. Урма, А. В. Харитонова.

Для ЭВМ БЭСМ-6 были созданы также программы расчета критического параметра λ по данным двумерных расчетов и осуществлена их связь с комплексами СИГМА и ТИГР. При этом использовались метод сферических гармоник (руководитель И. А. Адамская) и разностный метод (руководитель В. Я. Урм).

С самого начала освоения ЭВМ БЭСМ-6 в отделении развивалась технология разработки программ: были созданы процедура защиты технического задания (ТЗ) на разработку методики и программы и процедура сдачи разработанной программы в эксплуатацию.

Защита ТЗ происходила на заседании НТС отделения, при этом предлагаемый проект подвергался всестороннему обсуждению. С целью определения качества двумерных методик и программ была создана и опубликована система тестов. Под руководством В. Ф. Волгина и В. А. Баталова сложился коллектив, умеющий достаточно точно оценивать выполненную работу.

Одним из итогов этой работы стал «золотой фонд» отделения, содержащий несколько сотен программ. С помощью этих программ математики отделения 08 успешно конкурировали с американцами, в распоряжении которых имелись существенно более мощные ЭВМ (на 2–3 порядка выше по производительности и емкости оперативной памяти).

Следует отметить, что в последующие годы такая система контроля за качеством программ была внедрена в некоторых других институтах страны.

1994-2000 — ЭВМ МП-3, 640 млн. операций в секунду

1982–2000 годы

Характерными чертами этого периода можно назвать:

— использование полной двумерной технологии проведения расчетов, при которой во избежание ошибок каждое изделие рассчитывается по нескольким двумерным программам;

— начало производственного счета по трехмерным программам;

— широкое применение параллельных методик и программ на многомашинных комплексах и многопроцессорных ЭВМ с относительно небольшим числом процессоров.

В 80–90-е годы машинный парк отделения 08 был достаточно разнородным. До конца 1991 года работали ЭВМ БЭСМ-6. В 1978 году заработала первая ЭВМ серии ЕС (ЕС-1050), затем поступили ЕС-1060, ЕС-1061, ЕС-1066; в 1981 году — первые ЭВМ «Эльбрус-1», затем СВС и «Эльбрус-2».

Разнородный многомашинный парк требует высокого уровня организации работ для правильного использования вычислительных ресурсов. Еще в 60-е годы И. Д. Софронов поставил вопрос об организации параллельного счета задач, при котором одна за-

дача одновременно рассчитывается на нескольких ЭВМ. Тогда же параллельный счет был опробован на специально разработанном с этой целью варианте программы ДМК (руководила работой В. В. Рассказова). Параллельный счет оказался достаточно эффективным на 4-машинном комплексе, созданном инженерами отделов ЭВМ на основе БЭСМ-3 и БЭСМ-4. В 70-е годы был создан 9-машинный комплекс на основе ЭВМ БЭСМ-6, на нем также был организован параллельный счет задач. Наиболее эффективным он оказался при распараллеливании на три ЭВМ (В. Н. Горбунов и другие).

Отметим две работы системного и машинных отделов:

— создание неоднородного вычислительного комплекса (НВК), состоящего из 33 ЭВМ (БЭСМ-6, ЕС-1066, «Эльбрус 1-К2», «Эльбрус-2», «Эльбрус 1-КБ») суммарной производительностью 217 мегафлопс;

— создание вычислительной сети коллективного пользования ВСКП ВНИИЭФ на базе НВК и сети передачи данных СПД, обеспечивающей доступ к любой ЭВМ НВК с любого рабочего места.

В 1986 году цикл этих работ был отмечен Государственной премией СССР. От ВНИИЭФ — это основные разработчики: В. А. Беловол, А. А. Ерохин, В. М. Кухтин, В. И. Игрунов, А. И. Лукин, Б. С. Лукьянов, Э. Л. Шиспов.

Усовершенствовалась аппаратура, разрабатывались новые устройства: коммутатор общих дисков — КВП, устройства межмашинной связи — УМС, подключения электронной памяти; двустороннее печатающее устройство (В. П. Гусев), графопостроитель РПГ, модули системы охлаждения и многое другое.

Аппаратные новации были подкреплены созданием многомашинной версии многопользовательской ОС ДИСПАК версии ВНИИЭФ (руководитель А. А. Опарин), снабженной разработанными средствами распараллеливания. Глубокой переработке на системном уровне были подвергнуты и остальные ЭВМ НВК. Для ЭВМ «Эльбрус 1-К2» на базе ОС ДИСПАК были разработаны (руководитель Ю. Г. Бартенев) мультипроцессорная ОС СВС и средства распараллеливания на общей памяти. Той же группой на базе ОС СВС была разработана ОС РС (режима совместимости) для ЭВМ «Эльбрус 1-КБ», которая помимо ВНИИЭФ эксплуатировалась в десятках ведущих организаций России. Была серьезно доработана ОС «Эльбрус» для ЭВМ «Эльбрус-2» в части внедрения технологии массового счета задач и подключения к НВК (руководитель Г. А. Данилов). Для управляющих ЭВМ НВК (ЕС-1066) было разработано собственное управляющее программное обеспечение по общему вводу-выводу и архиву (А. Н. Прохоров, В. И. Самойлов, А. А. Кибкало, В. Д. Трущин). Сеть передачи данных также была оснащена собственным системным программным обеспечением (Е. П. Троицкий, А. С. Максимов).

Параметры ВСКП свидетельствуют о ее масштабности: 600 терминалов, 1000 пользователей, 100 тысяч файлов; в сутки: 3—5 тысяч заданий, 6 тысяч выводных файлов, 7 тысяч сеансов.

К концу 80-х годов в СССР наметилось серьезное технологическое отставание от США. Темпы создания новых образцов высокопроизводительных ЭВМ резко снизились. По инициативе И. Д. Софронова было решено создавать такие ЭВМ своими силами. Для решения этой задачи в 1989 году был создан отдел разработки высокопроизводительных вычислительных систем, который возглавил С. А. Степаненко. Этим отделом в 1994 году была разработана первая мультипроцессорная система серии МП-3 с распределенной памятью, состоящая из восьми микропроцессоров. Производительность МП-3 640 мегафлопс в 6 раз превышала производительность основной ЭВМ «Эльбрус-2». Помимо С. А. Степаненко большой вклад в разработку МП-3 внесли А. А. Холостов, В. И. Яцук и А. М. Варгин.

В 80—90-е годы с разработкой ВСКП и появлением многопроцессорных ЭВМ распараллеливание стало одним из важнейших принципов разработки больших программ. ВСКП была создана инженерами отделов ЭВМ в тесном сотрудничестве со специалистами по системному программированию. Она обеспечила научным сотрудникам института доступ ко всем вычислительным ресурсам отделения с рабочих мест, дала возможность концентрировать все ресурсы на решении одной задачи, позволила в сжатые сроки выполнять расчеты, недоступные серийно выпускаемым ЭВМ.

В последние годы в связи с созданием многопроцессорных систем (разработка сотрудников отделов ЭВМ отделения 08) в отделении интенсивно развиваются методики, допускающие глубокое распараллеливание счета, и параллельные программы. Естественно, что эффективное использование многопроцессорности потребовало существенной переработки большей части уже созданных и отработанных программ. Сместился центр тяжести методических работ: если раньше на первом плане были заботы об экономии числа арифметических операций и используемой памяти, то теперь — вопросы распараллеливания и счета без авостов. Гораздо шире стали использоваться методики с эйлеровыми координатами, нерегуляр-

ными сетками, различные смешанные регулярно-нерегулярные методики. Можно сказать, что процесс создания программ с крупноблочным распараллеливанием завершается и остро встает вопрос о создании программ с мелкозернистым распараллеливанием. Особенно это важно для трехмерных программ.

Многопроцессорные вычислительные системы предъявляют гораздо более жесткие требования к безавостности методик, чем одно- и малопроцессорные машины. Кроме того, стал особо актуальным вопрос о равномерной загрузке процессорных элементов. При использовании многопроцессорных машин, содержащих сотни и тысячи процессоров, равномерность загрузки является проблемой, одной из первостепенных по важности.

При решении больших задач, как правило, пик нагрузки в различные моменты времени не стабилен, а перемещается по всему полю задействованных процессоров. В связи с этим возникает потребность в автоматизации балансировки нагрузки. Способы ее осуществления зависят от применяемых математических методик, архитектуры машин и других факторов. По-видимому, в ближайшее время автоматизация балансировки нагрузки также будет занимать умы математиков.

В рассматриваемый период времени при определении основных характеристик разрабатываемых изделий по-прежнему большую роль играют одномерные расчеты. Все изделия обсчитываются в рамках полной двумерной технологии, проводятся трехмерные производственные расчеты. Достаточно высокая точность расчетов по трехмерным программам в начале 80-х годов продемонстрирована на расчете одного важного изделия, содержащего существенно трехмерные элементы. Неоднократно проведенные натурные испытания подтвердили правильность расчетов.

По предложению И. Д. Софронова программы для новых ЭВМ начали разрабатываться в рамках замкнутой двумерной и трехмерной технологии. Это значит, что на языках высокого уровня создаются трехмерные программы, допускающие экономный счет двумерных задач. В рамках этой технологии под руководством Б. Л. Воронина разработана программа РАМЗЕС, под руководством В. А. Сараева – программа МИМОЗА. Важным элементом замкнутой двумерной и трехмерной технологии является программа САТУРН, разработанная под руководством Р. М. Шагалиева. Она предназначена для расчетов нестационарных задач переноса нейтронов, задач энерговыделения и спектральных задач переноса излучения.

Разработаны также трехмерные программы: Д – под руководством В. И. Делова, ДМК – под руководством В. В. Рассказовой, ТРЭК – под руководством Ю. В. Янилкина.

Создаются современные архивы и библиотеки уравнений состояния, пробегов и нейтронно-ядерных констант. Эти работы выполнялись под руководством А. И. Голубева, Г. Г. Фарафонтова, Н. И. Леоновой, Л. Ф. Гударенко и других.

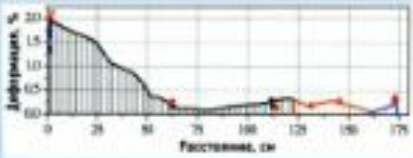
Наряду с трехмерными разработками математики начали уделять все больше внимания созданию программ и методик, использующих новые физические модели, которые интенсивно разрабатываются физиками. Эта работа стала возможной благодаря появлению новых мощных ЭВМ, позволяющих использовать более трудоемкие, но зато и более точные модели.

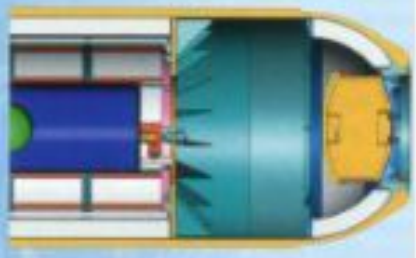
Деятельность математиков отделения в те годы заложила основы для разработки новых двумерных и трехмерных математических методик, крупных комплексов программ и расчетных технологий, с максимальной эффективностью использующих современные многопроцессорные системы. Эти мощные вычислительные «инструменты» требуются для получения высокоточных решений сложных физических задач при отсутствии натурных (ядерных) испытаний.

Эксперимент Расчет

Поле плотностей в эксперименте и расчете, светлая область – ПВ, более темная – зона невыгоревшего ВВ

Конструкция контейнера АТ595





Расчетные и экспериментальные данные по деформации на наружной поверхности корпуса контейнера при взрыве заряда ВВ 8 кг ТНТ в инертной упаковке массой 36 кг

СОВРЕМЕННЫЕ РАБОТЫ ИТМФ

Начиная с середины 80-х годов, физические исследования и математическое моделирование во ВНИИЭФ стали приобретать новый характер. Они сохранили оружейную тематику в качестве основной, но в то же время приобрели более «гражданский профиль». Это было связано с изменениями во внешней и внутренней жизни страны, в первую очередь с сокращением, а затем и с полным прекращением испытаний ядерного оружия. Далее последовали сложные годы недостаточного финансирования и многочисленных перестроек в управлении атомной отраслью России. Эти трудности вынуждали специалистов ВНИИЭФ самостоятельно искать приложения своим знаниям и умениям. В то время они не один раз с благодарностью вспоминали основоположников исследовательских работ во ВНИИЭФ, которые заложили в 40-х – 70-х годах фундамент, позволивший ядерному центру выстоять в нелегких обстоятельствах переходного периода.

Мощная интеллектуальная и материальная база возникла и развивалась в КБ-11 с первых лет его напряженной деятельности, а девизом дальновидной политики следует считать слова Ю. Б. Харитона, сказанные им, когда работы над ядерным оружием только разворачивались: «Мы должны знать в пять, десять раз больше, чем это требуется для решения конкретной задачи».

Именно огромный запас знаний, технологий и уникальные установки ВНИИЭФ позволили его коллективу успешно начать работы в нескольких новых направлениях, а также поддерживать и развивать традиционно оборонные, сохраняющие важность и в настоящее время.

Среди них на первом месте находились и находятся исследования, результаты которых необходимы для поддержания боезапаса, т. е. для обеспечения боеготовности ядерных сил страны на должном уровне.

Определяющим фактором здесь является время эксплуатации ядерных и термоядерных изделий и связанное с этим возможное изменение свойств материалов, входящих в их состав, и их влияние на технические характеристики изделий. Близкие вопросы возникают при воспроизводстве изделий, поскольку за долгий век их существования меняются и материалы, и технологии производства. Ответ на эти вопросы, поставленные временем, может быть дан только за счет все более глубокого понимания свойств материалов, входящих в состав изделий, создания современных моделей их поведения в разных условиях работы изделий и методов математического моделирования работы изделий с использованием этих моделей.

В отсутствие испытаний ядерного оружия предъявляются повышенные требования как к физическим моделям, реализованным в программных комплексах, так и к самим комплексам. Принципиально возросшие в последнее десятилетие вычислительные возможности, основанные на многопроцессорных комплексах, позволили существенно усложнить физические модели, повысить точность расчетов и их представительность.

В условиях отсутствия полигонных испытаний существенно возросла роль физических установок, поскольку расчетно-теоретический анализ проводимых на них экспериментов стал в значитель-

ной степени критерием правильности как физико-математических моделей, так и заложенных в них характеристик конструкционных материалов.

Рассмотрим некоторые результаты работ ИТМФ ВНИИЭФ, проводимых в интересах поддержания боезапаса на должном уровне. В первую очередь необходимо сказать о развитии физических моделей.

Положение составной преграды и ударника на различные моменты времени

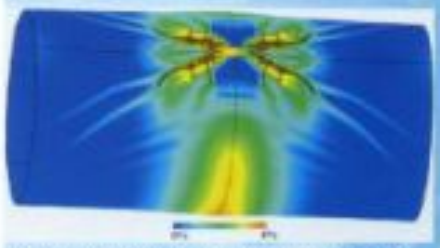
Развитие физических моделей

Работа ядерного заряда начинается со взрыва обычных, то есть неделящихся ВВ. Это весьма сложный процесс, и до сих пор его описание является феноменологическим, опирающимся на данные лабораторных опытов. В течение длительного времени процесс детонации ВВ описывался простыми моделями, что было связано в значительной степени с ограниченностью вычислительных возможностей. В отсутствие испытаний необходимость дальнейшего повышения надежности и безопасности ядерного оружия потребовала создания более адекватных физических моделей детонации взрывчатых веществ. Модель МК, созданная сотрудниками ИТМФ, учитывает кинетику детонации в условиях многомерных систем, со сложным взаимодействием ударных волн. В результате использования модели МК уточнена зависимость увеличения ударно-волновой чувствительности ВВ на основе ТАТБ при снижении начальной плотности.

Стали актуальными задачи, связанные с изучением изменений в поведении конструкционных материалов, применявшихся для создания ядерных вооружений. Эти материалы стареют, новые изготовляются по иным технологиям, и их свойства требуют дополнительного изучения.

Рассмотрению проблем прочности в различной постановке посвящены работы, которые можно объединить в раздел «Физико-математические модели расчета процессов, связанных с необходимостью учета прочности и разрушения конструкционных материалов». Этими работами в ИТМФ руководит С. В. Михайлов.

Адаптирована и введена в программные комплексы феноменологическая модель сдвиговой прочности Глушака – Стейнберга, кинетическая модель откольного разрушения, бинарная модель разрушения, релаксационная модель сдвиговой прочности. В рамках кинетической модели пластического откольного разрушения построено и используется уравнение состояния поврежденного материала, а также проведен последовательный учет диссипативных потерь, связанных с наличием его прочности и вязкости. Выполнена работа по обоснованию некинетического локального бинарного критерия динамического разрушения упругопластических материалов, предназначенного для математического моделирования любых видов разрушения при произвольном процессе динамического деформирования. Критерий введен в одномерную и ряд двумерных методик расчета динамического деформирования твердых тел. Проведены двумерные демонстрационно-тестовые расчеты растяжения и сжатия стальных образцов. Расчетным путем получены различные типы разрушения при квазистатическом растяжении, низкоскоростном динамическом сжатии и высокоскоростном откольном разрушении образцов.



Конечное состояние цилиндрической трубы в эксперименте и расчете

Пример прямого численного моделирования турбулентного перемешивания (классическая релей-тейлоровская неустойчивость). Спектр пульсаций скорости, полученный в этом расчете, асимптотически стремится к спектру Колмогорова

Развитие неустойчивости на сферической границе тяжелого и легкого веществ

В ИТМФ разработана простая феноменологическая модель прочности, учитывающая гетерогенный характер деформирования. Расчеты, проведенные с использованием этой модели, позволили удовлетворительно описать результаты двух типов экспериментов (ударных и безударных) по росту возмущений на поверхности ускоряемых продуктами взрыва алюминиевых пластин. Возмущения существенным образом зависят от сдвиговой прочности вещества. С помощью подобной модели удалось описать эксперименты по регистрации роста возмущений в алюминиевых образцах, нагружаемых с помощью лазера *NOVA*. Обычные вязкоупругопластические модели вещества не описывали всю совокупность экспериментальных данных.

Необходимо отметить, что в вышеперечисленных работах активное участие принимали не только теоретики и математики, но и экспериментаторы, сотрудники других институтов ВНИИЭФ.

Для решения задач определения напряженно-деформированного состояния сложных пространственных конструкций с учетом нелинейного поведения материала и контактного взаимодействия при интенсивных механических и тепловых нагружениях в двух- и трехмерных постановках создан программный комплекс ДРАКОН. Эта работа позволила провести ряд интересных расчетов, в том числе и по международным программам.

Примеры использования программного комплекса.

1. Расчет реакции взрывостойкого металлокомпозитного контейнера AT595.

2. Моделирование пробития составной преграды высокоскоростным ударником.

3. Моделирование разрушения цилиндрической трубы при взрывном нагружении.

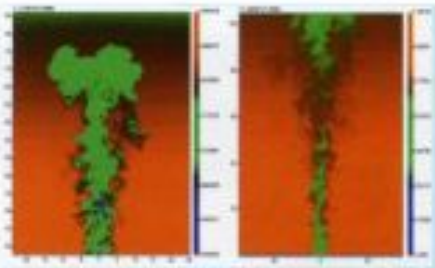
Разрабатываются новые методы и алгоритмы для расчета течений, сопровождающихся дроблением материала.

Практически все гидродинамические течения в той или иной степени неустойчивы, в результате развития неустойчивостей возникают зоны турбулентного перемешивания (ТП). В физических моделях развиваются в основном два подхода. В первом используются полуэмпирические модели ТП: модель В. В. Никифорова и различные варианты k-ε модели. Отметим, что идейно эти модели восходят к известным работам С. З. Беленького, сотрудника группы И. Е. Тамма. Второй подход получил развитие в последнее время. Он основан на прямом численном моделировании гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания. Эти работы в ИТМФ были инициированы В. А. Жмайло и В. П. Стаценко. Благодаря совершенствованию разработанных ранее физических моделей и методик расчета (а также созданию новых) стало возможным получение информации, которая прежде была недоступна из-за ограничений, связанных в первую очередь с характерным размером ячеек сетки. Теперь эти и другие ограничения во многих случаях снимаются. Появление высокопроизводительных ЭВМ позволило проводить прямое численное моделирование гравитационного турбулентного перемешивания на очень подробных пространственных сетках (более 30 млн. ячеек) (Ю. В. Янилкин).

Задача о формировании турбулентной плавучей струи возникает как в связи с естественными точечными тепловыми источниками, так и с промышленными, возникающими, в частности, в результате аварийных ситуаций.

Проведено прямое 3D численное моделирование развития струи от стационарного источника.

Интересные и важные результаты получены в ИТМФ при теоретико-расчетном изучении электромагнитного излучения (ЭМИ), являющегося следствием ядерного взрыва. Разработаны модели и математические методики расчета параметров ЭМИ, его распространения и воздействия на различные объекты и системы. Для проведения таких расчетов коллективом математиков в сотрудничестве с теоретиками разработан ряд методик и программ. Эта работа продолжается, ее ближайшей целью является создание комплекса программ, позволяющего рассчитать генерацию и распространение широкополосного ЭМИ, создаваемого параболическим излучателем.



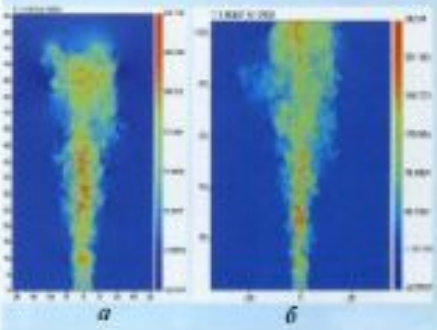
а *б*

Растровые картины плотности: а – t = 1,21; б – t = 1,96

Базы данных и библиотеки

«Что заложишь, то и получишь». Так можно сказать об исходной информации в расчетах. Важнейшую ее часть составляют физические характеристики веществ. Поэтому получение и систематизация накопленной информации о свойствах веществ, используемых в конструкциях изделий, т. е. создание баз данных, были и остаются важнейшей задачей ВНИИЭФ. Речь идет об уравнениях состояния (УРС), данных по спектральным пробегам рентгеновского излучения в горячей плотной плазме и о нейтронно-ядерных константах.

С целью обеспечения расчетов по основной тематике и их стандартизации в ИТМФ под руководством Л. Ф. Гударенко развивается единая библиотека УРС и пробегов фотонов. В ней содержится около 1000 УРС для конкретных веществ и смесей. В настоящее время в ИТМФ активно ведутся работы по созданию широкодиапазонных (т. е. в широкой области температур и плотностей веществ) УРС с учетом прочности, вязкости и фазовых переходов. Развиваются и новые методы исследования проблемы многих тел в ядерной, атомной и молекулярной физике. Для исследования электронных спектров многоатомных молекул в адиабатическом приближении предложено обобщить метод многомерных угловых кулоновских функций.



а *б*

Растровые картины вертикальной компоненты скорости: а – t = 1,21; б – t = 1,96

Для расчета пробегов излучения используются две основные программы, в которых реализованы различные модели Томаса – Ферми и Хартри – Фока – Слэтера, что дает возможность проводить сравнительные расчеты и повышает надежность результатов. Разработана эффективная технология получения пробегов в смесях конкретного состава по известным пробегам в их компонентах.

В течение длительного времени во ВНИИЭФ проводятся работы по развитию методов расчета спектральных пробегов излучения и УРС неидеальной плазмы. Совершенствуется база данных средних, многогрупповых и спектральных коэффициентов поглощения фотонов в веществе для газодинамических программ, рассчитывающих перенос излучения. Эта работа выполняется в тесном контакте с Институтом прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН.

В ИТМФ проводятся работы по учету влияния эффектов сильного межчастичного взаимодействия ионов в плотной плазме на радиационные и термодинамические свойства.

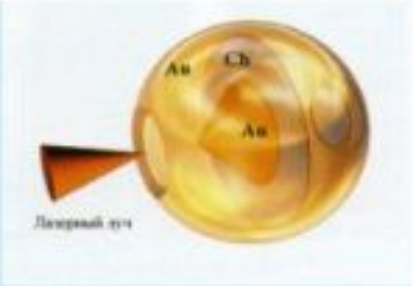
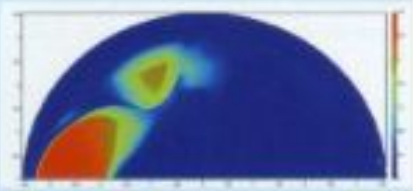


Схема мишени «лабиринт»

Во второй половине 80-х годов во ВНИИЭФ не только появились персональные ЭВМ, современные сервисные и графические программные пакеты, но и стал возможным доступ к мировым библиотекам и базам данных, содержащим параметры взаимодействий на ядерном уровне. Это позволило создать современную систему обеспечения расчетов ядерно-физическими данными, которая вобрала в себя лучшее из мирового опыта и многолетние разработки нейтронно-физических констант ВНИИЭФ (руководители Г. А. Гончаров, Г. Г. Фарафонтов, А. Н. Гребенников).

Основными компонентами созданной системы являются: архив ядерных данных (экспериментальных, оцененных, данных по структуре ядра и т. п.), программный комплекс константного обеспечения производственных расчетов BEND (Bank of Evaluated Nuclear Data) и развитая система графического сервиса.

Для решения больших задач неявными методами, например, задач диффузии, теплопроводности на многопроцессорных ЭВМ важное значение имеет разработка экономичных методов решения линейных систем алгебраических уравнений большого порядка. Помимо традиционного подхода, состоящего в разработке таких алгоритмов в каждом программном комплексе, с конца 90-х годов по настоящее время ведется разработка параллельных решателей разреженных линейных уравнений. Под руководством А. С. Сухих разрабатывается модуль Newt и библиотека параллельных решателей разреженных линейных систем ParSol/PMLP (руководитель Ю. Г. Бартенев), предназначенных для использования многими прикладными программными комплексами на многопроцессорных ЭВМ.



а

б

Распределение температуры на момент максимума лазерного импульса в мишени «лабиринт»: а – электронной; б – эффективной температуры излучения (по осям – 10^{-4} м, температура – кэВ)

Новые и усовершенствованные математические методики, программные комплексы и расчетные технологии

В последние годы в связи с существенным ростом возможностей вычислительной техники достигнут значительный прогресс в создании и усовершенствовании математических методик и программных комплексов, в которых реализованы новые физико-математические модели.

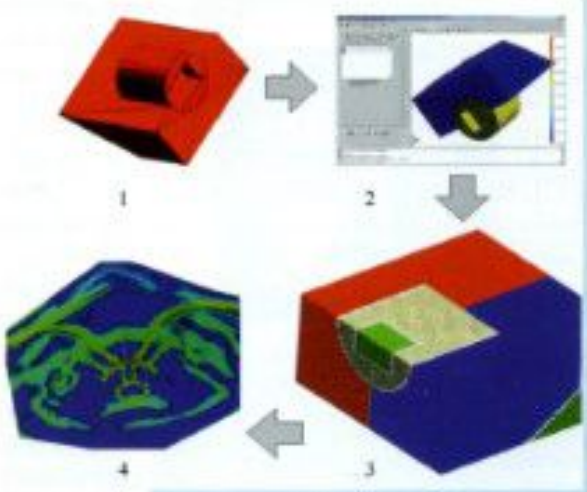
Среди них – двумерные методики и программные комплексы ФОМИМ, ФОРА, базирующиеся на методике расчета переноса излучения в движущейся среде в многогрупповом кинетическом приближении.

Значимые результаты достигнуты в создании «безавостных» (т. е. исключающих аварийный останов процесса счета) и высокоточных математических методик, комплексов программ и расчетных технологий моделирования.

Особое место в работах ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ уделяется разработке эффективных алгоритмов распараллеливания математических методик и разработке многомерных программных комплексов для проведения расчетов с высокой эффективностью на сотнях процессоров. Созданы алгоритмы, реализующие мелкоблочную и матричную пространственную декомпозицию данных (МИД, ЛЭГАК, РАМЗЕС-КП, ТРЭК), а также алгоритмы, реализующие комбини-

рованное по пространственным и энергетическим переменным распараллеливание (САТУРН).

Комплексы, работающие в параллельном режиме, позволили рассчитывать на многопроцессорных ЭВМ с распределенной памятью задачи, которые ранее не поддавались систематическим расчетам, и приходилось ограничиваться лишь приближенными оценками или использовать постановку задач с упрощенным описанием физических процессов. В настоящее время в ИТМФ эксплуатируются и многие другие параллельные программы. Это методики моделирования совместных процессов газовой динамики и переноса излучения в кинетическом приближении, моделирование в замкнутой постановке процессов газовой динамики. Это программы для решения задач переноса излучения и нейтронно-ядерных процессов по методу Монте-Карло и расчета термоядерных мишеней с учетом магнитной газодинамики и переноса спектрального рентгеновского излучения в кинетическом приближении. Это методика прямого численного моделирования трехмерных турбулентных газодинамических течений в эйлеровых переменных. Это моделирование процессов переноса излучения в кинетическом приближении и газодинамических течений в лагранжевых переменных в трехмерной постановке и ряд других разработок.



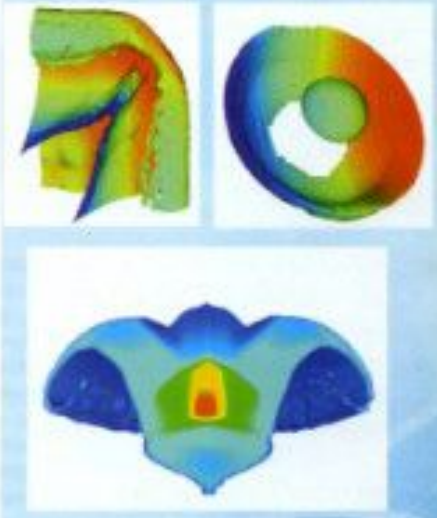
Схематичная технология подготовки и расчета начальных данных:
1 – исходная геометрия; 2 – задание начальных данных; 3 – расчет сетки и распределение величин; 4 – трехмерный газодинамический расчет

В последнее время в ИТМФ самое пристальное внимание уделяется разработке методов подготовки расчетов и визуализации данных, причем в едином ключе для всех двумерных и трехмерных математических методик и программных комплексов. Над реализацией этих задач в математическом отделении активно работает лаборатория общего сервиса под руководством В. И. Будникова. Указанные методы – это средства задания геометрии рассчитываемой системы, расчета начальных данных и графического представления результатов.

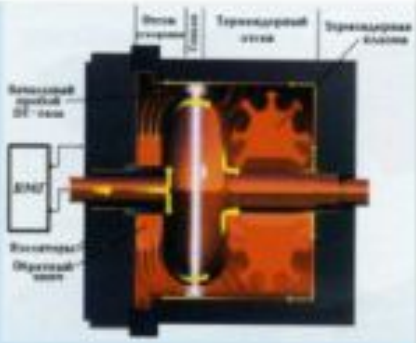
Для задания геометрий и расчета начальных данных (в двумерных методиках) сотрудниками ИТМФ разработаны визуальный редактор начальных данных – система VIZRED (руководитель В. В. Руденко) – и программа 2D-РНД. Соответствующие программы разрабатываются и для трехмерных задач.

Для представления данных, получаемых в результате расчетов разработана программа многомерной визуализации – визуализатор ZOOM (руководитель Ф. А. Плетенев).

Важной частью программ общего сервиса является библиотека ЕФР (руководитель В. И. Тарасов) для записи и чтения результатов расчетов. Эта библиотека позволяет каждому математическому комплексу работать с огромными объемами данных в унифицированном виде и обмениваться информацией с другими комплексами, программами расчета начальных данных и программами визуализации.



Примеры работы программ визуализации



Физическая схема газового пондеромоторного узла, в котором замагниченный ДТ-газ предварительно подогревается

Физические установки ВНИИЭФ и их роль в совершенствовании физических моделей и математических методик

Уникальный парк физических установок, созданный во ВНИИЭФ за годы его работы, теперь активно используется в совместной работе экспериментаторов и теоретиков для развития и апробации новых физических моделей и математических методик, в том числе для получения новой экспериментальной информации о процессах, происходящих в условиях, близких к ядерному взрыву.

Одно из важнейших направлений исследований – сопоставление результатов расчетных предсказаний, полученных по программам радиационной газодинамики, с экспериментальными данными, получаемыми в опытах на мощной лазерной установке «Искра-5».

Исследуемая мишень помещается в центре сферического бокса. Внутренние стенки бокса облучаются лазерными пучками, энергия которых преобразуется в рентгеновское излучение. При сдвиге мишени в сторону отверстия в стенке бокса возникает неоднородность рентгеновского потока, приводящая к несимметричному сжатию мишени.

Другое направление исследований связано с верификацией программ расчета переноса рентгеновского излучения в полостях, ограниченных стенками (мишень «иллюминатор»). Сопоставление с экспериментами на лазерных установках позволяет судить о полноте физических моделей и точности используемых алгоритмов.

Эти работы проводятся коллективами сотрудников ИТМФ и ИЛФИ.

Проведена также серия расчетов конверсии лазерного излучения и распространения неравновесного рентгеновского излучения в мишени «лабиринт». Расчеты показали, что при решении подобного класса задач необходимо использование многогруппового кинетического приближения для моделирования процессов переноса излучения

На установке «Искра-5» в настоящее время реализуется большая программа экспериментальных исследований взаимодействия мягкого рентгеновского излучения с плазмой. Эти эксперименты сопровождаются соответствующим расчетным и теоретическим анализом протекающих процессов по методикам ФОМИМ и МИМОЗА-НД.

Исследования, проведенные во ВНИИЭФ теоретиками и экспериментаторами из ИТМФ, НТЦФ и НИО-38, показали возможность постановки интересных и важных экспериментов с применением взрывомагнитных генераторов (ВМГ) различного типа.

Основной целью этих работ является моделирование процессов, происходящих при скоростях лайнеров в интервале 15–50 км/с, давлениях 10–15 Мбар, температурах 0,3–0,5 кэВ. Такие параметры позволяют исследовать физические процессы, происходящие, например, внутри космических объектов, и количественно характеризовать свойства веществ при сверхвысоких давлениях и температурах.

Стадия течений, на которой происходит развитие возмущений, воспроизводится во ВНИИЭФ на установках, использующих мощные ВМГ. Сопоставление экспериментальной информации по разго-

ну лайнеров магнитным полем и их устойчивости в движении с результатами расчетов по программам магнитной газодинамики позволяет получить информацию о прочностных характеристиках конструкционных материалов при их скоростном деформировании.

Изучаются возможности термоядерного зажигания в системе МАГО и создания мощных источников проникающего излучения на основе МАГО и плазменного фокуса.

Эти работы проведены сотрудниками отдела 5200 ИТМФ под руководством В. Н. Мохова.

Неядерно-взрывные эксперименты

Несмотря на то, что с декабря 1989 года натурные ядерные эксперименты не проводятся, один из полигонов, где они выполнялись, — Новоземельский, или Центральный полигон Российской Федерации (ЦП РФ) — поддерживается в рабочем состоянии. Это необходимо не только для сохранения его базы, но и для обеспечения надежной боеготовности ядерных вооружений, а также для подготовки кадров.

Специалисты ВНИИЭФ в начале 90-х годов предложили такую технологию проведения экспериментов на полигоне Новая Земля, которая позволяет, не нарушая положений Договора о всеобщем запрещении ядерных испытаний, проводить эксперименты в интересах поддержания на должном уровне ядерного боезапаса. По своей сути такие эксперименты (они называются неядерно-взрывными, или НВЭ) являются опытами с макетами ядерных зарядов, а уровень энерговыделения определяется только энергией химических ВВ. Неядерно-взрывные эксперименты регулярно проводятся на ЦП РФ с 1996 года. Их проведение определяется решениями Правительства и Президента РФ.

Важным этапом в деятельности Центрального полигона стали первые опыты по имитации аварийных ситуаций с ядерными зарядами, проведенные в 1997 году под руководством академика РАН Ю. А. Трутнева.

При проведении НВЭ соблюдаются все международные требования по обеспечению радиационной безопасности работ. Экологическая, в том числе и радиационная, безопасность в районе проведения экспериментов остается нормальной.

Экология в широком понимании этого термина

Хотя экология как самостоятельное направление научных исследований сложилась в конце 60-х — начале 70-х годов прошлого века, интерес к проблемам охраны окружающей среды активно формировался во ВНИИЭФ с середины 50-х годов. В своих «Воспоминаниях» А. Д. Сахаров пишет о том, что в 1955 году его «все больше стали волновать биологические последствия испытаний. Меня натолкнула на эту проблему сама жизнь...».

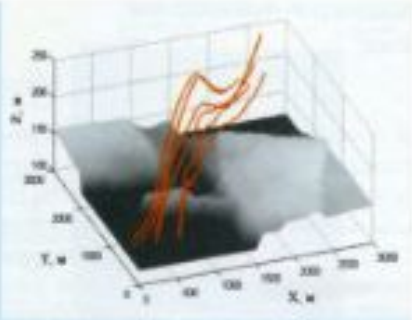
В настоящее время тематика экологических исследований, выполняемых сотрудниками ВНИИЭФ, является значительно более широкой, чем она представлялась А. Д. Сахарову после испытания РДС-37.

Вопросы безопасности при хранении и транспортировке ядерного оружия, работе с делящимися материалами уже давно являются одними из основных во ВНИИЭФ. Накопленный опыт позволяет обратиться к решению более общих экологических проблем.

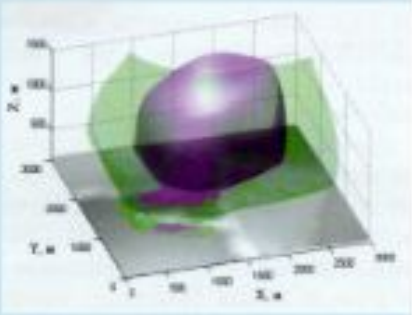
В настоящее время разработка и создание современных многомерных программных комплексов для анализа динамики и безопасности атомных электростанций стали для ВНИИЭФ уже традиционными. Работы по этому направлению развернулись здесь с конца 1986 года, после аварии на Чернобыльской АЭС. Они проводились по инициативе и под руководством академика Ю. А. Трутнева и при поддержке Л. Д. Рябева, бывшего в то время первым заместителем министра среднего машиностроения СССР. Вскоре это направление стало одним из наиболее актуальных в области международного сотрудничества.

С конца 1980-х годов в ИТМФ развернуты работы по созданию программных кодов для анализа динамики и безопасности реакторных установок (в основном типа РБМК и ВВЭР) и расчета последствий аварийных ситуаций.

Разработан (руководитель М. С. Самигулин) системный термогидравлический двухскоростной код РАТЕГ для моделирования рабочих и аварийных режимов работы ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Наборы моделей элементов контура ЯЭУ, а также моделей систем автоматического регулирования, внедренных в РАТЕГ, дают возможность создавать полные расчетные модели ЯЭУ, включая системы управления и автоматического регулирования. Код РАТЕГ вошел в состав комплекса программ, разработанных силами специалистов ВНИИЭФ и ряда ведущих институтов Москвы и С.-Петербурга. Комплекс раз-



Линии тока воздуха над подстилающей поверхностью в районе выброса



Изоповерхности концентрации трития в атмосфере по уровням $1{,}5 \cdot 10^{-10}$ относительных единиц/м^3 (фиолетовый цвет) и $1{,}5 \cdot 10^{-12}$ относительных единиц/м^3 (зеленый цвет). $t = 800$ с

рабатывался для обоснования проектных решений при возведении Тяньваньской АЭС в Китае.

Код РАТЕГ является составной частью разработанного в ИТМФ программного комплекса ТЕНАР. С помощью комплекса ТЕНАР можно рассчитывать рабочие и переходные режимы реактора (пуск, перевод на другую мощность, останов), проектные аварии на нем (с потерей теплоносителя, неконтролируемым ростом мощности и т. п.), а также рассматривать течение некоторых типов запроектных аварий, вплоть до начала разрушения элементов активной зоны.

В ИТМФ разработаны также коды:

– DANCO для решения задач по определению напряженно-деформированного состояния элементов сложных пространственных конструкций с учетом нелинейного поведения материала и контактного взаимодействия при интенсивных механических и тепловых нагружениях в двумерной и трехмерной постановках. Программный комплекс аттестован в Госатомнадзоре РФ;

– SRP для решения задач распространения парогазовой смеси по отдельным помещениям АЭС при оценке возможных последствий аварийных ситуаций;

– FIRECON для трехмерного численного моделирования газодинамики с учетом горения и детонации водородосодержащих смесей.

Созданные комплексы позволяют исследовать различные вопросы безопасности при работе на АЭС. Результаты расчетов с применением этих программ прошли экспертизу МАГАТЭ, получили высокую оценку и были использованы на ряде предприятий России и зарубежья. Трехмерный газодинамический код SRP использовался для моделирования переноса трития в атмосфере над областью с относительно сложной топографией.

В ИТМФ в период с 2001 по 2004 год был разработан комплекс программ TDMCC. Работа проводилась под руководством В. А. Тарасова и А. К. Житника. В основу положен многолетний опыт разработки программ на основе метода Монте-Карло. Комплекс предназначен для расчета нестационарных процессов нейтронной динамики активных зон АЭС с реакторами типа ВВЭР и PWR методом Монте-Карло, как для аварийных ситуаций, так и для рабочих переходных режимов, а также может использоваться для расчета выгорания топливных элементов и получения полей энерговыделения в активной зоне (стационарный режим). Используется прямое моделирование нейтронной и ядерной кинетики в активной зоне при детальном задании геометрии, составов и использовании современных библиотек элементарных нейтронных данных. Комплекс программ ориентирован на современную мощную многопроцессорную вычислительную технику и в настоящее время не имеет аналогов в мире. Комплекс программ позволяет оперативно проводить расчеты и получать подробную и детальную информацию о состоянии твэлов, других элементов активной зоны и теплоносителя как при стационарных и переходных рабочих режимах, так и при аварийных режимах. Это позволяет повысить безопасность и увеличить ресурс элементов активных зон АЭС.

Комплекс может эксплуатироваться как автономно, так и совместно с различными теплогидравлическими кодами, в том числе и с разрабатываемым в ИТМФ современным трехмерным теплогидравлическим кодом ЛОГОС-2.

В расчете учитывались такие процессы, как турбулентность, конвекция, конденсация и испарение влаги, а также взаимодействие между примесями (газы, аэрозоли), атмосферой и поверхностью Земли.

Большое внимание в ИТМФ придается работам, посвященным проблемам безопасности при авариях изделий, содержащих ВВ. Был разработан и успешно протестирован метод определения реакции ВВ на аварийные тепловые воздействия путем численного моделирования. Для этого применялись программы ЗЕВС-ТИМ2 и ЗЕВС-ТИМ3, позволяющие проводить сквозные расчеты нагрева и воспламенения ВВ, входящего в состав сложной конструкции, а также программа ДИАДА.

Радиоактивное загрязнение окружающей среды является одним из основных факторов опасности ядерного оружия. Поэтому для определения реальной опасности гипотетических аварий с ядерным оружием, оценки эффективности защитных средств и конструкционных способов повышения безопасности необходимо исследование процессов выброса в атмосферу и рассеяния делящихся материалов в натурных экспериментах с использованием имитаторов этих материалов.

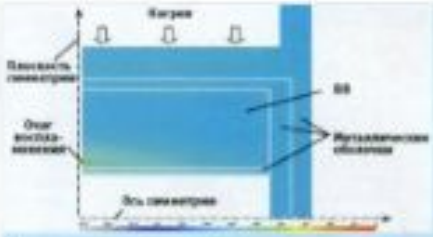
Наиболее полная информация по проблемам безопасности была получена в полномасштабных диффузионных экспериментах (1997 и 2002 годы), проведенных на внешних специализированных полигонах. Первые опыты проводились под руководством академика Ю. А. Трутнева. Их редакция включала в себя четыре эксперимента со взрывами макетов зарядов и два эксперимента, имитирующих аварии с пожарами. В экспериментах 2002 года определена эффективность одного из технических решений, позволяющих уменьшить радиационные последствия аварии.

На основе полученных экспериментальных данных, результатов расчетов и новых критериев по производным уровням вмешательства было показано, что масштабы последствий аварий с пожаром носят локальный характер. Аварии с одиночным зарядом на открытой местности не приводят к загрязнениям среды глобального масштаба, а представляют опасность только для близлежащего региона (временное перемещение населения необходимо вплоть до расстояния ≈5 км). В подготовке и проведении экспериментов принимали участие сотрудники ВНИИЭФ и ряда организаций Минатома. За общую организацию работ и анализ результатов экспериментов отвечали теоретики и математики. Результаты работы постоянно, начиная с 1999 года, докладываются на международных конференциях.

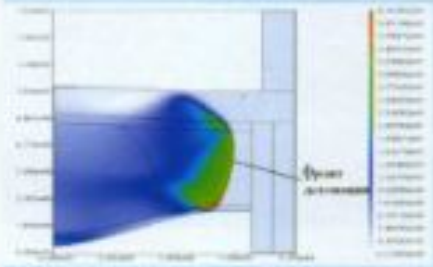
Важное значение в разработке физических моделей для описания процессов, связанных с переносом загрязнений, имеют работы В. Н. Пискунова.

Коллективом сотрудников ИТМФ разработаны физическая модель и трехмерная численная методика для расчета ряда эффектов, имевших место при ядерном взрыве над о. Джонстон в Тихом океане (1962 год). Тогда на высоте 400 км было испытано изделие мощностью 1400 кт. Этот взрыв вызвал глубокие изменения в верхних слоях атмосферы, ионосфере и геомагнитном поле. Он рассматривался как крупномасштабная демонстрация многих принципов геофизики и физики плазмы. Разработки ИТМФ позволили численно воспроизвести и проанализировать многие важные аспекты явлений, наблюдавшихся более 40 лет назад.

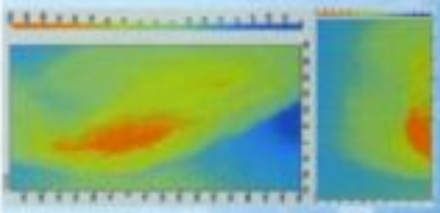
Разработанные в ИТМФ методика и комплекс программ НИМФА (Ю. Н. Дерюгин) предназначены для решения трехмерных



Расчетное распределение температуры (°С) на момент воспламенения ($t_в$ = 753 мин)

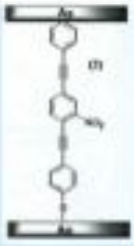


Расчетное распределение давления (ГПа) на момент t = 80 мкс (после воспламенения)



Основные черты светящейся области, наблюдавшиеся в эксперименте, в частности, ее трехмерный характер, обусловленный неоднородностью атмосферы и действием магнитного поля. Видно также образование струй плазмы, вытекающих из области взрыва вдоль силовых линий

задач миграции подземных вод и распространения растворимых загрязнений в подземных водах от типовых локальных источников. Модель включает уравнения фильтрации для насыщенно-ненасыщенной пористой среды и уравнения массопереноса. Комплекс активно используется для решения задач, связанных с обеспечением экологической безопасности при взрывных подземных экспериментах, и прогнозированием последствий аварий в местах хранения радиоактивных отходов.



Исследуемая система

LUMO

HOMO

Распределение плотности электронов на различных орбиталях молекулы

Новые направления в работе

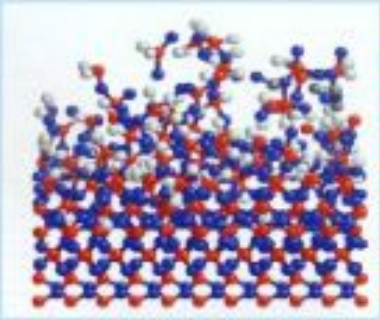
Накопленный потенциал специалисты ИТМФ успешно применяют для решения задач в самых разных областях современной науки – от чисто фундаментальных проблем до актуальных технологических.

Молекулярная динамика. В последние годы в ИТМФ начали развиваться методы молекулярной динамики. Эксперименты с молекулами ряда органических веществ показали, что этим веществам (причем в количестве одной или нескольких молекул) присущи некоторые свойства, представляющие огромный интерес для электроники.

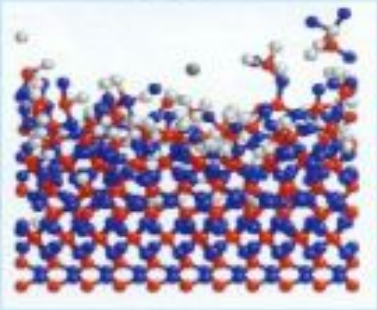
Одна из работ по данному направлению проводилась с участием фирмы «Моторола» и заключалась в моделировании явления «молекулярных проводов». Ее целью были построение физической модели процесса и интерпретация экспериментов, выполненных в «Моторола».

Большое значение для развития микроэлектроники имеет дальнейшая миниатюризация элементной базы. Этой тематике был посвящен проект по численному моделированию процессов травления оксида кремния потоком ионизированных флюокарбонов. Использовались методы молекулярной динамики. Были выполнены не только расчеты по программе молекулярной динамики, но и моделирование самосогласованной системы псевдопотенциалов, используемых в программе.

Проведено моделирование процесса получения новых перспективных наноматериалов со сверхсвойствами одним из методов интенсивных пластических деформаций – посредством равноканального углового прессования. Экспериментально подтверждены

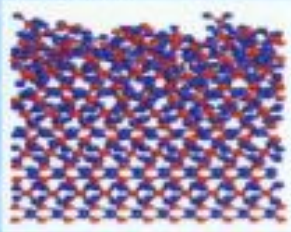


$\Theta = 0°$

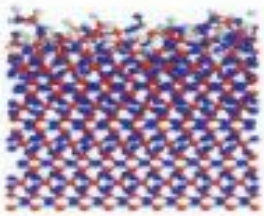


$\Theta = 30°$

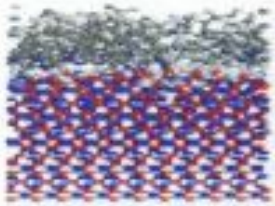
Образец после бомбардировки 650 ионами CF_2 ($E = 50$ эВ). Красные сферы – кремний, синие – кислород, светло-серые – фтор, темно-серые – углерод



Аморфный кристалл



Кристалл, протравленный ионами CF_2^+



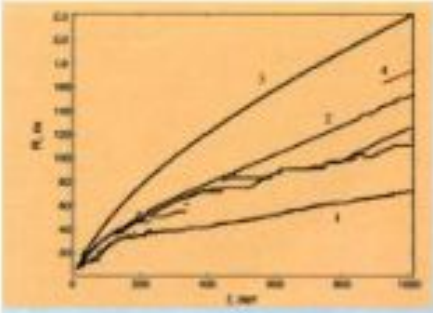
Кристалл с полимерной пленкой на поверхности

Модельные поверхности кристалла SiO_2, используемые в расчетах. Красные сферы – кремний, синие – кислород, светло-серые – фтор, темно-серые – углерод

предсказанные моделированием новые механические свойства материалов – повышение предела текучести и прочности металлов за счет изменения внутренней структуры и измельчения зерна до наноразмеров.

Ведется исследование возможностей молекулярного моделирования для прогнозирования свойств материалов и создания для этих целей программных комплексов.

Космическая тематика. Несомненный интерес представляет работа по расчету структуры Крабовидной туманности. Эта туманность возникла при разлете оболочки Сверхновой 1054 года в атмосфере звездного ветра ее «предсверхновой». Ее наблюдения проводятся уже более 100 лет, тем не менее ряд наблюдаемых эффектов в Крабовидной туманности до сих пор не имеет однозначной трактовки. Одно из возможных объяснений этих особенностей состоит в том, что видимая туманность представляет собой область, окруженную разлетающейся оболочкой и заполненную «ветром», истекающим из пульсара, расположенного в ее центре, причем граница «ветра» и оболочки неустойчива, что приводит к намешиванию вещества оболочки в полость. Для проверки этой гипотезы на количественном уровне был проведен ряд расчетов по численным методикам ИТМФ, ориентированным на расчеты турбулентных течений. *R-t* диаграммы характеризуют динамику расширения туманности. Рассчитанный радиус пульсарного ветра на время t ~ 1000 лет действительно близок к наблюдаемому. Анализ данных по распределению атомов гелия и полю температур подтверждает возможность объяснения наблюдаемой гетерогенной структуры Крабовидной туманности эффектами намешивания вещества оболочки в атмосферу пульсарного ветра.



R-t диаграммы: 1 – УВ в пульсарном ветре; 2 – внешней границы оболочки; 3 – УВ в межзвездном газе; 4 – наблюдаемые размеры Крабовидной туманности

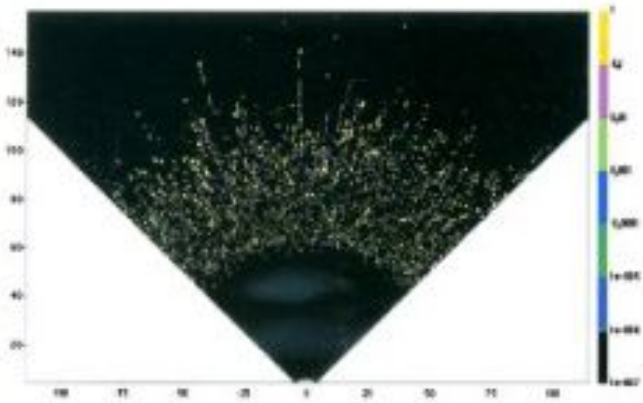
Крабовидная туманность в линиях H_α, структура волокон

Развитие вычислительной базы нового поколения

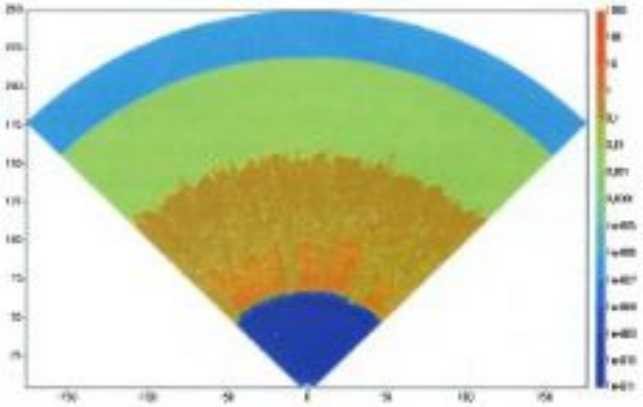
Опыт создания прежних комплексов ЭВМ и, в первую очередь, мультипроцессорной системы МП-3 с распределенной памятью позволил создать в короткие сроки, начиная с 1999 года, серию высокопроизводительных ЭВМ с распределенной мультипроцессорной обработкой за счет использования суммарной мощности сотен микропроцессоров.

Высокие требования к ЭВМ, предъявляемые параллельными программными комплексами для расчета физических процессов, протекающих в ядерных/термоядерных зарядах и сопряженных с ними устройствах, обусловили необходимость существенной корректировки и создание дополнительных системных компонентов, тщательного решения вопросов архитектуры. Стали актуальными объединение всех ЭВМ в неоднородный вычислительный комплекс (НВК) и разработка технологий, позволяющих максимально эффективно и экономично ими пользоваться.

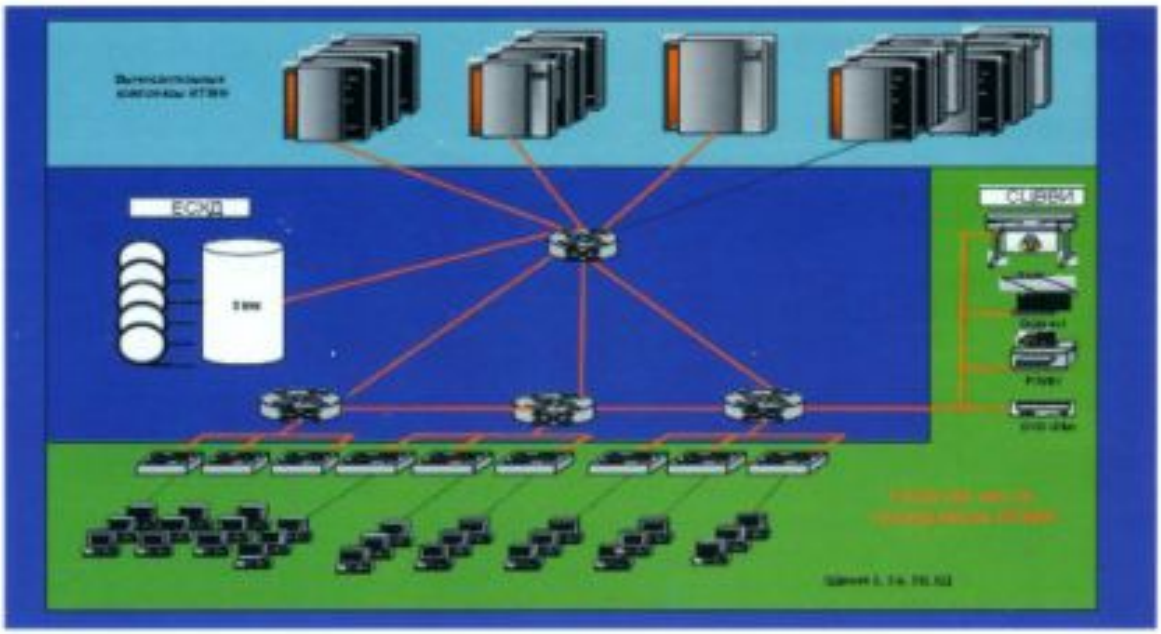
За создание серии наиболее мощных ЭВМ двое сотрудников – С. А. Степаненко и А. А. Холостов совместно с представителями РФЯЦ-ВНИИТФ и РАН удостоены Государственной премии за 2003 год. Большой вклад в эту работу внесли А. М. Варгин, Н. Н. Залялов, В. М. Вялухин, Г. П. Поповидченко, А. П. Обернихин и другие.



Объемная концентрация гелиевой оболочки (на осях – 10^{-2} пк)



Внутренняя энергия (в единицах 10^{19} см^2/с^2) (на осях – 10^{-2} пк)

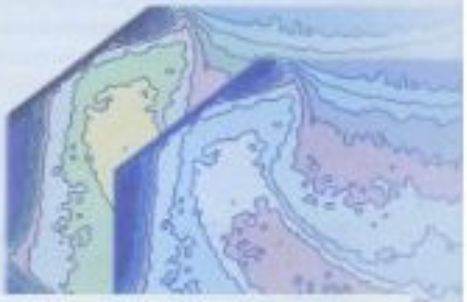


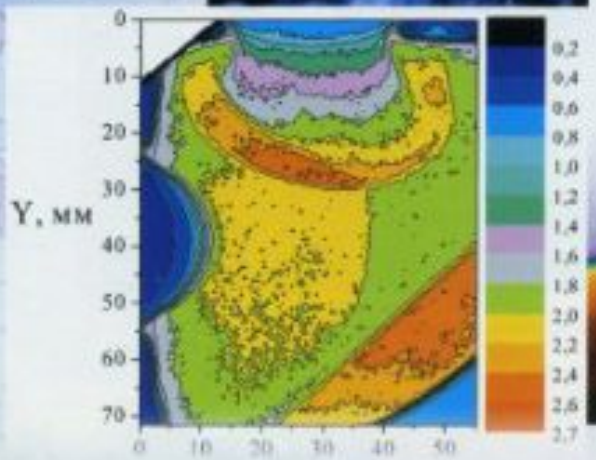
Локальная сеть, объединяющая интегрированную вычислительную систему ИТМФ

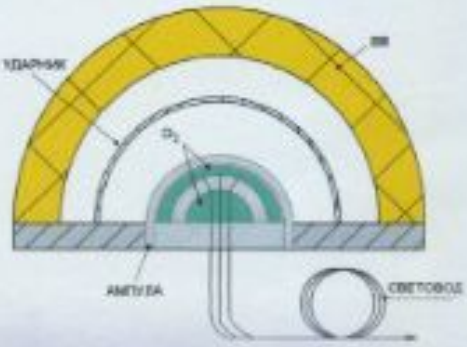
Работой по объединению различных современных ЭВМ в НВК и созданию связанной с ним современной защищенной сети рабочих станций индивидуального пользования (ПЭВМ) руководили Ю. Г. Бартенев, А. М. Варгин, М. Ю. Осипов, В. Н. Стрюков, Н. М. Микийчук.

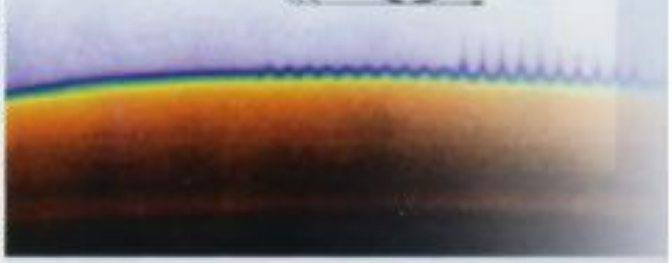
Комплекс обеспечивает работу пользователей в аттестованной по безопасности защищенной локальной вычислительной сети, в которую входят общие вычислительные ресурсы — НВК, система централизованного ввода-вывода, информационные серверы. В состав НВК входят несколько высокопроизводительных многопроцессорных ЭВМ с общей дисковой и архивной памятью, единая система управления, сбора информации для анализа эффективности работы ЭВМ. Начаты работы по развитию программно-аппаратного параллельного комплекса для решения задачи визуализации и анализа огромных наборов данных, являющихся результатами математического моделирования. Большой вклад в создание и совершенствование НВК внесли Ю. Н. Корзаков, В. В. Жорин, А. Н. Давыдов, Е. Е. Санталова, Г. П. Семенов, Д. В. Кульнев, А. Б. Олесницкий, И. Л. Бондарь и другие.

Для связи между подразделениями ВНИИЭФ и с другими предприятиями отрасли специалистами математического отделения начаты работы по созданию защищенной корпоративной сети ВНИИЭФ и защищенному обмену информацией по открытым каналам. Эти работы проводятся при содействии отделов и служб безопасности ИТМФ и ВНИИЭФ.




Y, мм
0
10
20
30
40
50
60
70
0
10
20
30
40
50
0,2
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
1,8
2,0
2,2
2,4
2,6
2,7


УДАРНИК
АНТЕННА
СВЕТОВОД



Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва

История становления

Под газодинамическими исследованиями в терминологии российских разработчиков ядерного оружия понимается весь широчайший спектр вопросов, связанных с физикой взрыва — нестационарными течениями сжимаемой сплошной среды. Средой может быть плазма, реальные газы, жидкости и твердые тела.

В 1948 году приказом по КБ-11 был сформирован научно-исследовательский сектор (НИС). Тематику его первых лабораторий составили методические и технологические разработки получения новых ВВ, физика взрыва, ударных и детонационных волн. За короткое время надо было научиться формировать сферически сходящиеся детонационные и ударные волны, определять их параметры: давление, массовые и фазовые скорости, симметрию схождения, устойчивость, плотность (степень сжатия) материалов за фронтом ударной волны; найти методы определения параметров уравнений состояния (УРС) как продуктов взрыва, так и конструкционных материалов, в том числе делящихся.

Общее руководство исследованиями в те годы осуществлял профессор К. И. Щелкин, первый заместитель Ю. Б. Харитона, будущий научный руководитель ВНИИТФ, член-корреспондент АН СССР.

В 1952 году из НИС были выделены два теоретических сектора (А. Д. Сахаров, Я. Б. Зельдович) и два экспериментальных (газодинамики — сектор 3 и экспериментальной ядерной физики — сектор 4).

Е. К. Завойский

В. К. Боболев

Б. Н. Леденев

Сектор 3 был организован на базе девяти отделов НИСа. Газодинамические исследования в 1952–1955 годах возглавлял В. К. Боболев, впоследствии заместитель директора Института химической физики АН СССР. Исследования взрывчатых веществ возглавила Е. А. Феоктистова.

Отдел внутренних полигонов возглавил Г. П. Ломинский, впоследствии директор ВНИИТФ, отдел конструирования узлов и аппаратуры для газодинамических исследований – А. П. Герасимов.

С 1955 по 1959 год сектор возглавлял Б. Н. Леденев – один из учеников Л. В. Альтшулера. В 1959 году Борис Николаевич был откомандирован в Китай, после возвращения в 1961 году в СССР он перешел в НИИ-1011, где занимал должности директора и главного конструктора. В 1966 году Борис Николаевич возвратился в сектор 3 на должность заместителя начальника сектора и начальника отдела 129.

С 1959 по 1967 год начальником сектора являлся Н. А. Казаченко – один из ближайших сотрудников А. Д. Захаренкова. В 1971 году Николай Александрович переехал в Москву, затем работал в Пятом главке МСМ.

С 1967 года более 30 лет начальником сектора (с 1986 года отделения) был Л. М. Тимонин, в настоящее время – главный научный сотрудник ИФВ.

С 1998 года начальником отделения, а с августа 2000 года – первым директором Института физики взрыва (ИФВ) является А. Л. Михайлов.

В газодинамическом секторе работали многие известные руководители института и отрасли: А. Д. Захаренков – заместитель министра среднего машиностроения СССР, Г. А. Цырков – начальник главного управления разработки и испытаний ядерных зарядов Минсредмаша, Л. Д. Рябев – министр среднего машиностроения, первый заместитель председателя последнего кабинета министров СССР, Е. А. Негин – директор и главный конструктор ядерных зарядов ВНИИЭФ, академик АН СССР, Б. В. Литвинов – главный конструктор ядерных зарядов ВНИИТФ, академик РАН, и другие.

Руководителями важнейших направлений в 1950–1970 годы были заслуженные специалисты отрасли Л. В. Альтшулер, В. М. Герасимов, А. Г. Иванов, А. С. Козырев, С. Б. Кормер, Ю. М. Макаров, В. М. Некруткин, С. А. Новиков, Ю. М. Стяжкин, Д. М. Тарасов, Р. Ф. Трунин, Л. В. Фомичева, В. К. Чернышев, Г. Д. Соколов, С. А. Кривов, М. В. Белкин и другие.

День сегодняшний

Имена наших выдающихся сотрудников долгие годы были неизвестны научной общественности из-за высокой степени секретности работ ВНИИЭФ. Между тем благодаря их труду, таланту, знаниям и умению сегодня Институт физики взрыва ВНИИЭФ – это, пожалуй, крупнейший в стране институт данного профиля.

В нем ведутся работы не только по развитию и сохранению надежности и безопасности ядерного арсенала России, но и совместно с академическими и отраслевыми институтами, а также лабораториями других стран успешно выполняются фундаментальные исследо-

вания, развиваются гражданские приложения взрывных технологий по заказам отечественных и иностранных партнеров.

Сейчас, спустя 60 лет после образования КБ-11, ИФВ ВНИИЭФ – это:

– около 900 ученых, инженеров и рабочих разных профессий, среди которых 14 докторов и 55 кандидатов наук, десятки лауреатов Ленинской премии, Государственных премий СССР и России, премий Правительства РФ, кавалеры высоких государственных наград;

– всемирно известная школа исследований динамических свойств материалов и конструкций;

– замкнутый комплекс технологической разработки и исследований свойств ВВ и изделий из них, работающий в тесной кооперации с опытным производством ВНИИЭФ и серийными предприятиями отрасли;

– развитая лабораторная база и внутренние полигоны для взрывных исследований, десятки передвижных исследовательских комплексов, адаптированных к полевым условиям испытаний на внешних полигонах.

В состав ИФВ входят научно-конструкторский отдел, специализирующийся на конструировании узлов и систем взрывного действия, лабораторных исследовательских установок и измерительных комплексов, а также опытный цех, воплощающий разработки конструкторов и исследователей в металл.

ИФВ ВНИИЭФ – базовый институт для кафедры теоретической и экспериментальной механики физико-технического факультета Саровского физико-технического института.

Открытые для широкой научной общественности исследования специалистов-газодинамиков ВНИИЭФ стали находить свое отражение в публикациях в журналах АН СССР с конца 50-х годов. В последние годы, во многом благодаря вовлечению в международную научную кооперацию, ученые ИФВ ВНИИЭФ публикуют и открытые монографии – как сугубо научного, так и научно-мемуарного содержания.

Монографии специалистов ИФВ написаны в последние годы в творческом содружестве с учеными других организаций и подразделений ВНИИЭФ. Отчет об исследовании гидродинамических неустойчивостей в средах с прочностью положил начало многолетнему сотрудничеству ВНИИЭФ с Ливерморской и Лос-Аламосской национальными лабораториями США.

Начиная с 1999 года, ВНИИЭФ ежегодно проводит международные конференции, посвященные памяти Ю. Б. Харитона – тематические Харитоновские научные чтения. Вопросы прикладной газодинамики составили тематику III, V, VII чтений. Ученые-газодинамики ВНИИЭФ (экспериментаторы, теоретики, математики) – организаторы и непременные участники многих международных мероприятий, определяющих современный уровень достижений в этой области знаний.

Сейчас спектр газодинамических исследований в институте чрезвычайно широк. Это, прежде всего:

– экспериментальные исследования и разработка ядерных зарядов, исследования по обеспечению их безопасности и надежности;

– исследования динамических свойств веществ в условиях экстремальных импульсных давлений и температур (сжимаемость, параметры УРС, фазовые переходы, электрические и оптические явления);

Н. А. Казаченко

Л. М. Тимонин

А. Л. Михайлов

Испытания на обеспечение групповой взрывобезопасности ядерных боеприпасов

Подготовка эксперимента с многоразовой взрыволокализующей камерой на центральном полигоне

– динамика и прочность материалов и конструкций, исследования реологии и устойчивости материалов при динамических нагрузках;

– разработка взрывозащитных локализующих систем;

– комплексные исследования и разработка технологий ВВ;

– исследования осуществимости газодинамического термоядерного синтеза;

– исследования гидродинамических неустойчивостей;

– физика ударных и детонационных волн в конденсированных и газовых средах;

– разработка боевых частей обычных вооружений;

– гражданские приложения взрывных технологий;

– разработки в интересах антитеррористической деятельности.

Эти и многие другие направления работ тесно связаны между собой и в конечном итоге направлены на основную цель: поддержание и обеспечение надежности и безопасности ядерного арсенала России.

В связи с действием Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) вновь, как и в период создания ядерно-оружейной науки, возросла роль фундаментальных газодинамических исследований свойств материалов в экстремальных состояниях, как представляющих самостоятельную ценность, так и необходимых для адекватного численного моделирования процессов, протекающих в конструкциях.

Направления работы специалистов ИФВ:

– экспериментальная база;

– экстремальные состояния вещества;

– динамическая прочность;

– газодинамический термоядерный синтез;

– гидродинамические неустойчивости в газах, жидкостях и средах с прочностью;

– ВВ для ядерных зарядов;

– методы лабораторной отработки неядерных БЧ;

– приложения взрывных технологий.

Экспериментальная база

Газодинамические исследования ВНИИЭФ ведутся в лабораториях ИФВ и на внутренних полигонах института, оснащенных современными испытательными установками, бронекамерами и башнями для локализации взрыва. Эксперименты выполняются специалистами ИФВ и на внешних полигонах Министерства обороны и других организаций и ведомств России. В этом случае исследовательским целям служат специализированные мобильные измерительно-вычислительные комплексы, созданные во ВНИИЭФ с использованием компьютерных технологий.

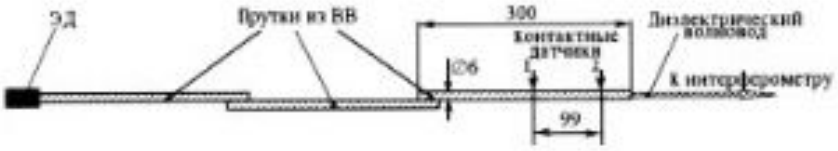
Особого внимания заслуживает рентгенографический комплекс (РГК) для газодинамических исследований ВНИИЭФ, основой которого являются установки собственной разработки: от мощных бетатронов и линейных индукционных ускорителей электронов с энергией

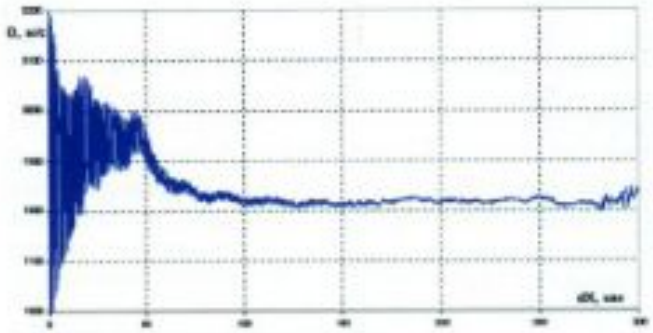
гамма-квантов в десятки мегаэлектронвольт до установок с «мягким» спектром излучения в несколько сотен килоэлектронвольт.

Особенностью современной модификации этого комплекса является его компактность и широкие возможности многоракурсного и многокадрового рентгенографирования объектов в процессе взрыва.

а *б* *в* *г*

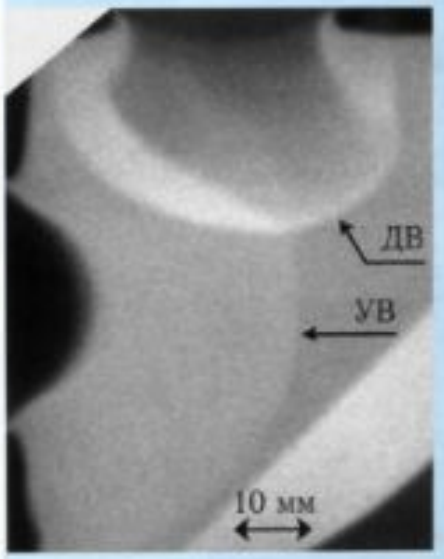
Современные рентгенографические установки ВНИИЭФ и средства регистрации: а – «Эридан»; б – регистратор; в – БИМ 234.3000; г – «Спрауг-Р»

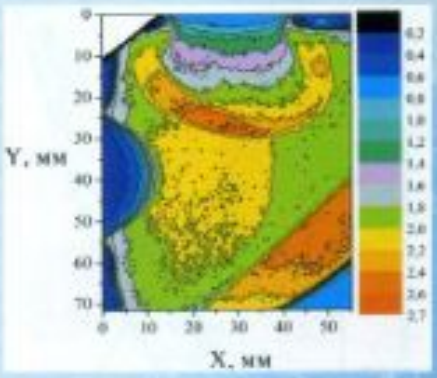




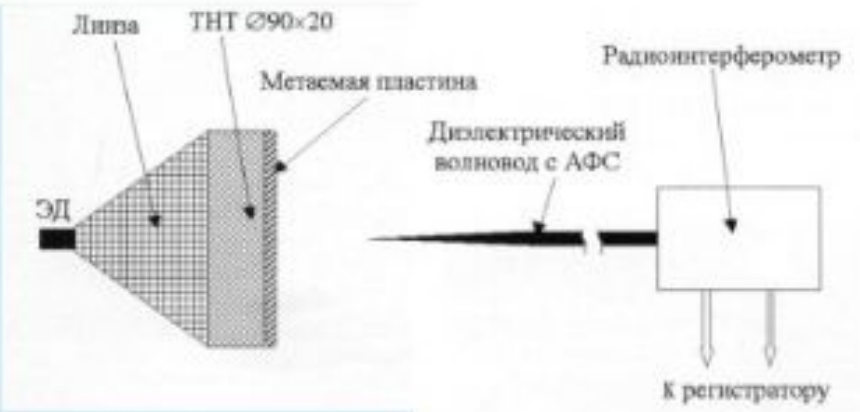
Непрерывные измерения скорости детонации в пластическом ВВ

Баллистическая ударная труба БУТ-76 для исследования динамической прочности материалов

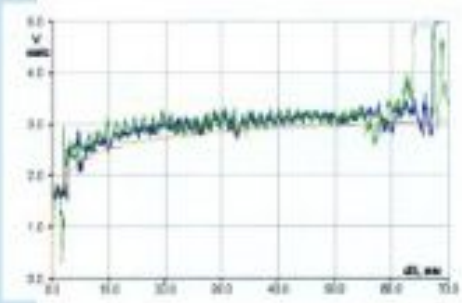




Рентгенографические исследования процесса взаимодействия ударной и детонационной волн в конденсированном ВВ: а – рентгеноснимок взрывного процесса; б – экспериментальное поле плотности



а

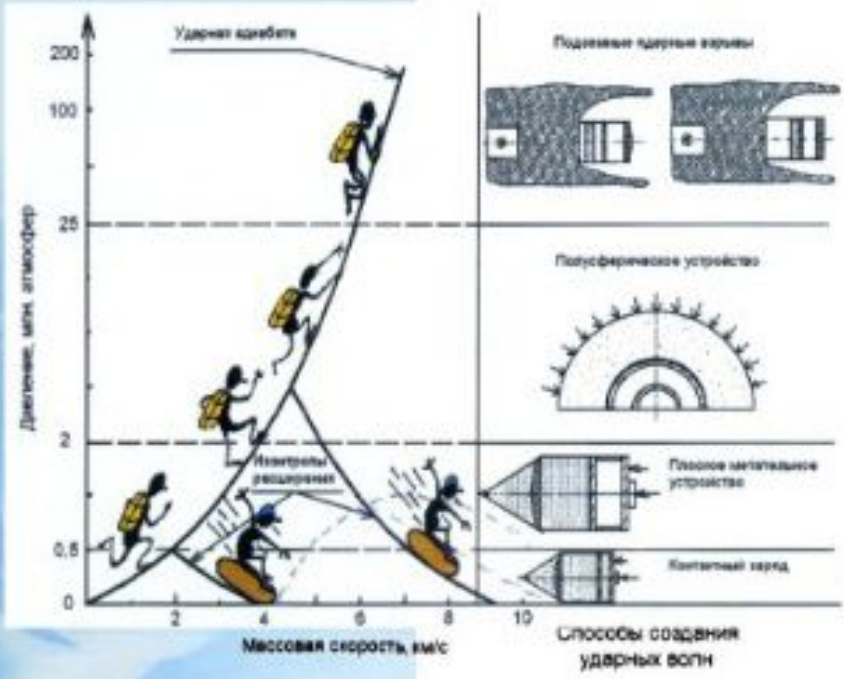


б

Схема (а) и результаты (б) эксперимента по измерению скорости метания пластины зарядом ВВ с помощью интерферометра

В современном рентгенографическом комплексе используются как сравнительно традиционные средства регистрации, так и уникальные многокадровые системы собственной разработки, для которых созданы соответствующие алгоритмы и коды компьютерной обработки изображений.

Из методических разработок последних лет следует отметить измерительный зондирующий комплекс на базе радиоинтерферометров миллиметрового диапазона, разработанный в содружестве с НИИИС и ННГУ (г. Н. Новгород). Перспективы невозмущающего метода непрерывной диагностики в радиопрозрачных средах чрезвычайно заманчивы: с его помощью можно проводить синхронные исследования тонкой структуры ударных и детонационных волн, измерять метание тел и перемещение объектов, подвергаемых действию взрыва.



Диапазоны регистрируемых давлений ударного сжатия (для тяжелых металлов) и схемы взрывных измерительных устройств

Экстремальные состояния вещества

Принципиально важным является правильное описание процессов, протекающих при ударно-волновом и (или) квазиизэнтропическом сжатии веществ и их последующей изэнтропической разгрузке до начальных «нулевых» и даже отрицательных давлений. Уравнения движения при этом описании «замыкаются» уравнением состояния (УРС) вещества, представляющим собой функциональную связь между термодинамическими параметрами (давление, температура, плотность, энтропия, удельная энергия и пр.). Понятно внимание, уделяемое в ядерно-оружейных лабораториях изучению УРС веществ.

Трудом ученых ВНИИЭФ получен определяющий объем информации по УРС. Результаты опубликованы в открытой литературе, но значительная их часть осталась в закрытых источниках. Эти без преувеличения уникальные знания в области сверхвысоких (до десятков миллионов атмосфер) давлений базируются в основном на ударно-волновых экспериментах, которые выполняются, прежде всего, с применением зарядов химического ВВ. Для получения необходимых данных эксперименты оснащаются устройствами высокоскоростной диагностики параметров ударных волн, волн сжатия и разрежения. Помимо зарядов химических ВВ для изучения УРС различных веществ широко использовались мощные ударные волны подземных ядерных взрывов. Сейчас появились другие методы генерации мощных ударных волн и волн квазиизэнтропического сжатия (импульсные лазерные установки, легкогазовые пушки, взрывомагнитные или магнитокумулятивные генераторы, емкостные накопители энергии и т. п.). Однако заряды обычных химических ВВ остаются наиболее распространенным, мобильным и дешевым средством изучения УРС.

Во ВНИИЭФ существует большое число лабораторных генераторов ударных волн различной геометрии. Наибольшие давления ударных волн в тяжелых металлах до ~30 миллионов атмосфер (30 мегабар) достигнуты в лабораторных условиях на устройствах сферической геометрии со сходящимися сферически-симметричными лайнерами (ударниками).

С конца прошлого века внимание исследователей привлекли к себе дейтерий и водород. Исследования дейтерия были вызваны, в частности, публикациями ученых Ливерморской национальной лаборатории (ЛЛНЛ, США) об аномальной сжимаемости этого изотопа. Эти результаты были получены ими на лазерной установке *NOVA*. Последующие измерения, проведенные во ВНИИЭФ на сферических системах и в Сандийской национальной лаборатории (СНЛ, США) на электрофизической установке с разгоном ударника сильным магнитным полем, опровергли измерения на *NOVA*.

Помимо исследований динамической сжимаемости широкое развитие получили измерения сжатия пористых материалов и изэнтропического расширения веществ. По совокупности исследований (1948–2000 гг.) под редакцией Р. Ф. Трунина в 2001 году был выпущен сборник экспериментальных данных, включающий в себя результаты измерений сжимаемости и изэнтропического расширения более 250 различных веществ и охватывающий все их основные классы. Приведенные в нем результаты являются в целом основой для построения широкодиапазонных УРС, способных описать сквозным образом термодинамику твердого, жидкого, газообразного и плаз-

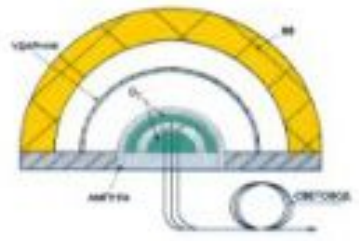
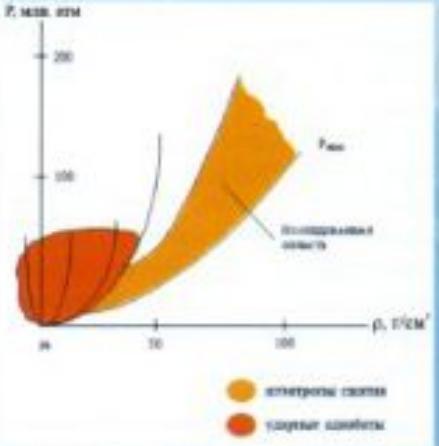
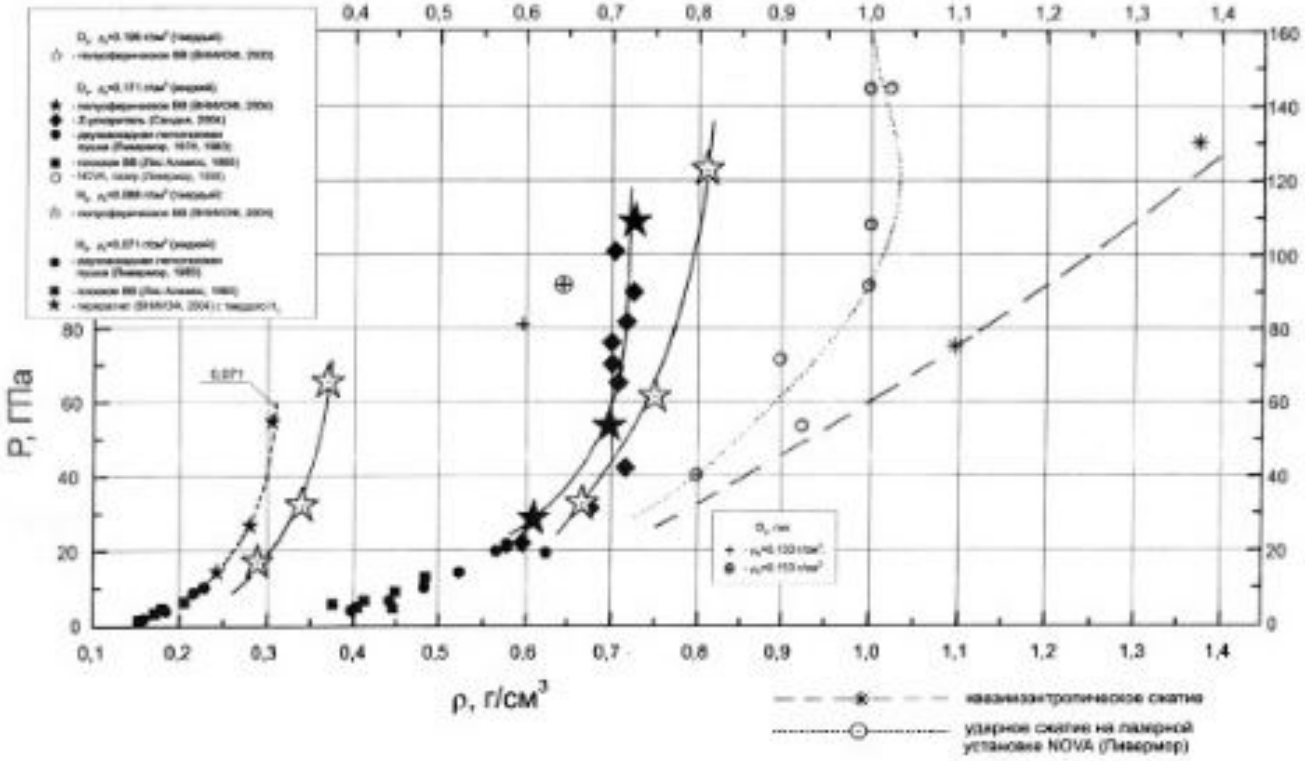


Схема полусферического устройства для исследования ударно-волновой сжимаемости газообразного дейтерия



Области экспериментальных исследований сжимаемости делящихся материалов «традиционными» ударно-волновыми методами и методом НЦР



Кривые сжатия дейтерия и протия

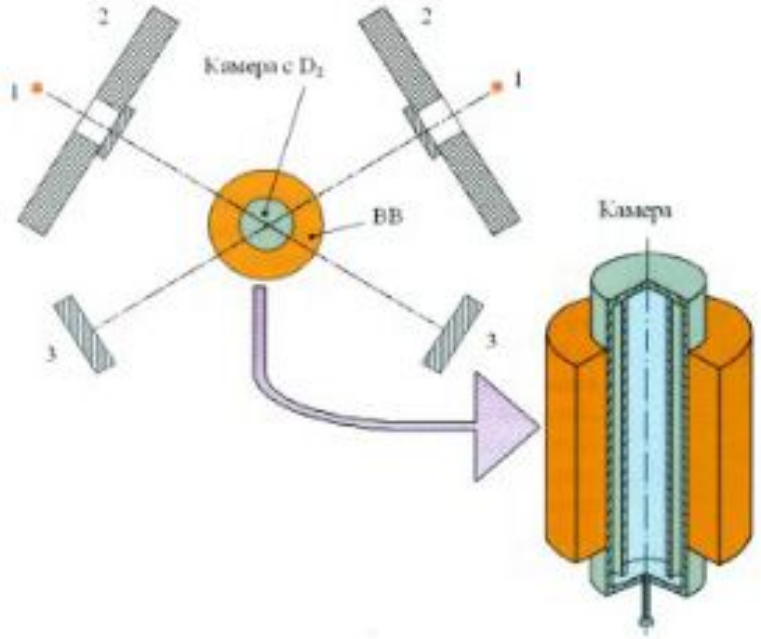
менного состояния с учетом эффектов плавления, испарения, диссоциации, ионизации и других процессов.

Дальнейший шаг в повышении уровня давлений и температур ударно-сжатых веществ в целях изучения их УРС был связан с использованием мощных ударных волн, генерируемых подземными ядерными взрывами. Достигнутый здесь потолок давлений в металлах составляет ~100 миллионов атмосфер, скорости ударников ~60 км/с и сжатия около 4.

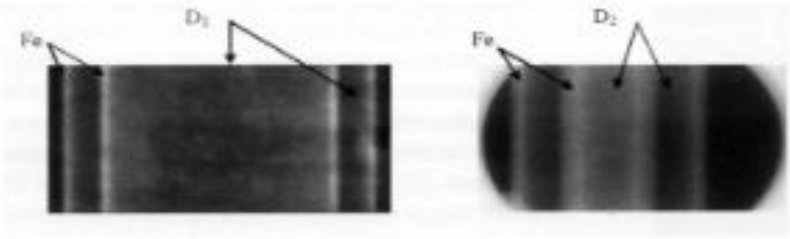
Эти исследования были выполнены коллективом сотрудников под руководством Р. Ф. Трунина при выполнении ими физических измерений при проведении подземных ядерных взрывов.

По-видимому, полученные нашими исследователями результаты еще долго останутся рекордными, в частности, ввиду отсутствия надежных энергетических источников необходимых давлений. Перспективы интенсивно развивающихся лазерных и электрофизических установок покажет будущее.

Особое место в исследованиях изэнтропической (или близкой к ней) сжимаемости делящихся материалов занимает так называемый метод «невзрывных цепных реакций» (НЦР), предложенный в 1957 году Л. В. Альтшулером, Я. Б. Зельдовичем и Ю. М. Стяжкиным. Стяжкину и возглавляемому им коллективу сотрудников ИФВ принадлежит приоритет в развитии и практических приложениях этого метода, известного на Западе под термином «гидроядерные эксперименты». Суть метода заключается в установлении количественной связи выхода нейтронов цепной ядерной реакции, зарегистрированного в опыте, с достигнутым сжатием (плотностью) делящихся материалов. Указанная



Типичная постановка экспериментов по квазиизэнтропическому сжатию газообразного дейтерия:
1 – источник γ-излучения; 2 – защита; 3 – регистратор



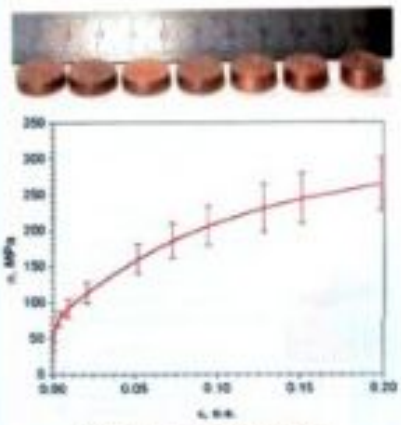
а *б*

Рентгеновские изображения цилиндрических оболочек при сжатии газообразного дейтерия давлением ~150 ГПа: а – теневое изображение оболочки в исходном состоянии; б – теневое изображение оболочек в момент гаммаграфирования

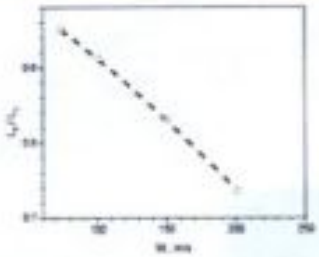
связь устанавливается с помощью гидродинамических и нейтронных расчетов. При этом в опытах НЦР выделяющаяся ядерная энергия меньше энергии, полученной активной зоной от химического ВВ.

В нескольких сериях экспериментов по методу НЦР Ю. М. Стяжкиным с сотрудниками было достигнуто сжатие плутония до 100 г/см^3, урана – до 70 г/см^3. Тем самым получены уникальные данные для построения их широкодиапазонных УРС.

Следующий динамический метод определения параметров широкодиапазонных УРС, развиваемый в последние годы, связан с исследованиями квазиизэнтропической сжимаемости веществ в «имплозийных» системах цилиндрической геометрии. Основной метод диагностики здесь – импульсная рентгенография.



Типичная σ-ε диаграмма



Зависимость L_f/L_0 от скорости соударения W

Поведение материалов при динамическом деформировании (методы ССГ и Тейлора)

Динамическая прочность

Разработка ядерных зарядов, стойких к внешним поражающим воздействиям, привела в 50-е годы к созданию во ВНИИЭФ нового направления газодинамических исследований – изучению динамических физико-механических свойств материалов в условиях импульсного воздействия. Под ними понимались нейтронное и гамма-излучение, а также механические и тепловые нагрузки. Характерные времена механических воздействий – 10^{-3}–10^{-9} с, интервал напряжений – от единиц до 10^9 МПа, температура материала может превышать температуру плавления, реализуемые скорости деформации – 10^3–10^9 $с^{-1}$.

Первые экспериментальные исследования структуры упругопластических волн в металлах, генерируемых взрывным нагружением, провели в 50-х годах А. Г. Иванов, С. А. Новиков и В. А. Синицын с сотрудниками. Применив изобретенный ими емкостный датчик, они определили параметры упругопластической волны и динамический предел текучести для ряда металлов и сплавов в широком диапазоне начальных температур.

Тогда же было начато систематическое исследование откольной прочности материалов. В 1956 году А. Г. Иванов и С. А. Новиков при взрывном нагружении стальных образцов обнаружили откольные разрушения с идеально гладкой поверхностью раздела, которые явились первым экспериментальным доказательством существования так называемых «ударных волн разрежения» в ряде веществ, используемых при создании ядерных зарядов.

Это открытие привело впоследствии к разработке во ВНИИЭФ уникальных методов взрывной разборки крупногабаритных конструкций, требующих почти на порядок меньше ВВ по сравнению с общеизвестными технологиями.

Исследование откольной прочности делящихся и конструкционных материалов в широком диапазоне условий импульсного нагружения и сейчас является одной из важных задач прикладной газодинамики.

Усилия исследователей ВНИИЭФ в настоящее время направлены на развитие, уточнение и верификацию параметров многостадийных моделей динамической откольной прочности, учитывающих кинетику развития повреждений в материалах, и, в конечном счете, введение этих моделей в компьютерные коды численного моделирования работы конструкций.

Для получения необходимых в инженерной практике динамических диаграмм деформирования материалов при определенных условиях ученые ВНИИЭФ с начала 1970-х годов успешно применяют метод, основанный на использовании составного стержня Гопкинсона (ССГ). С помощью этого метода были получены динамические диаграммы для большого числа материалов, включая

Транспортабельный взрыволокализующий контейнер «Колба»

ВВ, а для делящихся материалов — и в условиях воздействия на них проникающих нейтронного и гамма-излучений.

Учет сдвиговой прочности материалов также имеет принципиальное значение для адекватного описания работы конструкций в условиях высокоскоростного деформирования. Первые исследования сдвиговой прочности металлов за фронтом ударной волны были выполнены во ВНИИЭФ в 1960-х годах С. А. Новиковым и Л. М. Синицыной, которые использовали метод «догоняющей разгрузки».

В последние годы для получения информации о реологических свойствах материалов, подвергаемых высокоскоростному деформированию, во ВНИИЭФ разработаны два расчетно-экспериментальных метода. Это метод высокоскоростного деформирования цилиндров из исследуемого материала, или метод Тейлора, и метод возмущений, когда исследуется развитие заданных возмущений на ускоряемой границе раздела вещества с газом или другим малопрочным материалом.

Отметим, что метод возмущений применялся во ВНИИЭФ с 1950-х годов для различных целей, например, для определения динамической вязкости металлов или изучения процесса их плавления за фронтом ударной волны. Но свое «второе дыхание» он получил именно в связи с широким развитием двумерных численных методов исследования.

Суть и метода Тейлора, и метода возмущений заключается в том, что результаты эксперимента по высокоскоростному деформированию материалов выражаются в численных кодах, содержащих те или иные феноменологические модели, описывающие реологию материала.

Совокупность полученных этими методами результатов позволяет успешно разрабатывать так называемые модели механических УРС материалов, или определяющих уравнений. Одной из них, например, является феноменологическая модель прочности, описывающая динамический предел текучести как функцию пластических деформаций, давления и температуры.

Особый раздел исследований динамической прочности хрупких материалов — их динамическая трещиностойкость, т. е. определение удельной энергии, идущей на образование свободных поверхностей при распространении трещины. Развитие этих работ применительно к ВВ привело к созданию во ВНИИЭФ динамических безвзрывных методов разборки боеприпасов.

Одним из практических применений результатов широкомасштабных исследований динамической прочности материалов в условиях взрывного нагружения стали разработки уникальных взрыволокализующих сосудов и контейнеров для транспортировки взрывоопасных объектов. Отчасти стимулировал исследования и продвижение в этой области обнаруженный в начале 1960-х годов сильный масштабный эффект энергетической природы, заключающийся в резком (на порядок) снижении удельной несущей способности стальных сосудов при геометрически подобном увеличении их абсолютных размеров.

Развитие этих работ привело к созданию способов преодоления масштабного эффекта. На этой основе в начале 1980-х годов были разработаны транспортабельные взрыволокализующие камеры с несущей способностью в 150–200 кг в тротиловом эквиваленте. Комплекс этих работ был отмечен Государственной премией СССР (1985 г.).

Исследование несущей способности корпусов ядерных реакторов

В дальнейшем, в связи с изменением внутри- и внешнеполитической обстановки, эти работы легли в основу серии долгосрочных контрактов с Сандийскими национальными лабораториями США.

Параллельно, в те же 1970–1980-е годы коллективом под руководством А. Г. Иванова был выполнен цикл работ по обоснованию несущей способности корпусов ядерных реакторов интегрального типа на быстрых нейтронах в случае их запроектной аварии. Эта работа велась по заказу опытно-конструкторского бюро машиностроения (ОКБМ), г. Н. Новгород, и совместно с заказчиком. Она успешно завершилась задолго до Чернобыльской аварии, когда не одобрялись даже дискуссии о возможности взрывоподобных аварий с ядерными реакторами.

Газодинамический термоядерный синтез (ГДТС)

Газодинамический термоядерный синтез – исторически первое направление работ по инерциальному термоядерному синтезу, и родилось оно задолго до других направлений: лазерного, тяжелоионного и т. п.

Началу работ по ГДТС положило предложение А. С. Козырева. В 1947 году А. С. Козырев, в то время работник СКТБ 5 (г. Ленинград), высказал идею о возможности достижения в фокусе сферического заряда из обычного ВВ таких давлений и температур, которых окажется достаточно для протекания термоядерной реакции синтеза в тяжелых изотопах водорода. На основе этой идеи Александр Сергеевич предложил конструкцию взрывного термоядерного реактора (ВТР). В архиве ИФВ хранится отчет-предложение А. С. Козырева, выпущенный им в 1947 году (в 2005 г. ВНИИЭФ издал монографию А. С. Козырева «Газодинамический термоядерный синтез»).

Отчет он направил по инстанциям, занимавшимся оборонной тематикой.

В то время явление имплозии было известно лишь узкому кругу ученых-атомщиков, накрепко спрятанных спецслужбами от общественности. Предложение А. С. Козырева в верхах было оценено по достоинству, и в феврале 1948 года по постановлению ЦК ВКП(б) он прибыл на «объект» (КБ-11), основной задачей которого являлось создание ядерного оружия. В первые годы своей работы в КБ-11 он занимался совсем другими проблемами – разработкой систем инициирования атомных зарядов, за что и был в 1949 году награжден орденом Ленина.

В архиве ВНИИЭФ хранится служебная записка А. С. Козырева от 13 ноября 1948 года. В ней Александр Сергеевич выражает свое возмущение тем, что он до сих пор не участвует в работах по тематике, им предложенной.

Обсуждение идеи А. С. Козырева в научных кругах КБ-11 развернулось сразу же по его прибытии на «объект». Расчетно-теоретические работы были начаты в 1951 году Я. Б. Зельдовичем, В. А. Александровым и Н. А. Поповым. Постоянное внимание к работам проявлял Е. И. Забабахин.

Экспериментальные работы из-за дефицита ресурсов удалось начать только в 1952 году.

Двумя годами позже по инициированию цепной реакции деления в натурном ядерном испытании было установлено рождение термоядерных нейтронов в момент фокусировки ударной волны в термоядерном горючем. (Оценим научную смелость отцов-основателей КБ-11, пошедших на это испытание.)

К сожалению, режим секретности, в те времена достаточно строгий, надолго задержал публикации об успехах в исследованиях по ГДТС.

Возможность практического использования термоядерных нейтронов, появляющихся в момент фокусировки ударной волны, сразу была признана перспективной. Она предопределила глубокий интерес, проявленный специалистами КБ-11 не только к данному факту, но и к дальнейшему развертыванию исследований физических и газодинамических явлений, сопровождающих обжатие термоядерного вещества, в потенциальном взрывном термоядерном реакторе.

К началу 1955 года группой физиков под руководством Ю. С. Замятнина была создана высокочувствительная (фиксирующая поток в ~10^4 нейтронов) аппаратура для измерения малых импульсов нейтронов. Метод регистрации с помощью этой аппаратуры получил название метода затянутой регистрации.

Он широко применяется в экспериментах и в настоящее время, модифицируясь в аппаратурном оформлении. В последующие годы были разработаны другие методики и высокочувствительная аппаратура, позволяющие получать более полную информацию о параметрах термоядерной реакции, протекающей в мишени.

Первоначально газодинамические исследования систем с термоядерным источником нейтронов были сосредоточены в отделе натурных испытаний. Отдел с 1955 года возглавлял Л. М. Тимонин, впоследствии начальник газодинамического отделения. Исследования в отделе велись по двум направлениям – фундаментальному и прикладному.

В 1958 году для интенсификации исследований по ГДТС на эту тематику был переориентирован отдел под руководством А. С. Козырева. Энтузиазм исследователей был беспримерным, их работа пользовалась мощной поддержкой руководства КБ-11.

Приоритет в погоне за предельной величиной нейтронного выхода на первом этапе экспериментальных работ отдавался энергетическому фактору. Для увеличения энергетики взрывной системы проводились опыты с зарядами ВВ диаметром более 1,2 метра, повышалась мощность самого ВВ. Так заманчиво казалось: еще чуть повысить скорость ударной волны, увеличить давление – и заветная цель в руках!

За первые три года исследований прошло около ста опытов с обжатием в фокусе тяжелых изотопов водорода и дейтерид-тритидов различных металлов. Были разработаны и исследованы десятки вариантов взрывных систем, обеспечивающих высокоэффективную трансляцию (кумуляцию) энергии ВВ в центр заряда. Опыты преследовали как чисто прагматические цели по использованию нейтронных импульсов, генерируемых в заряде, для диагностики газодинамических систем, так и более фундаментальные – по исследованию закономерностей протекания возбуждаемой термоядерной реакции. В каждом опыте исследователи искали ответ на конкретный вопрос, но зачастую вместо ответа получали новый вопрос.

В 1958–1959 годах на применявшихся в экспериментах так называемых многокаскадных системах был достигнут потолок нейтронного выхода, составивший ~$5 \cdot 10^9$, что на три-четыре порядка меньше, чем предсказывалось теорией. Стало ясно, что нужно искать новые пути к цели.

В 1959 году Е. И. Забабахин рассмотрел схождение сферической ударной волны в системах, состоящих из чередующихся пар слоев малой и большой плотности. Он установил, что автомодельные слоистые системы (слойки) позволяют существенно повысить кумуляцию энергии по сравнению с ранее исследовавшимися системами. Теоретическая работа была немедленно принята к экспериментальной проверке, и уже в первом опыте удалось зарегистрировать нейтронный выход $>10^{10}$, провести поиск оптимального соотношения толщин легких и тяжелых слоев. На основании эксперимента и теоретических рекомендаций Е. И. Забабахина было выбрано их оптимальное соотношение.

На выбранной системе исследователи изучили влияние отношения плотностей слоев слойки на нейтронный выход и выявили максимум у экспериментальной зависимости $N_n = f(\rho_1/\rho_2)$.

На этот результат существенно влияли механические и термодинамические свойства используемых материалов. Скрупулезные исследования в этой области провел И. Г. Проскурин при участии Р. С. Осипова, Г. С. Смирнова, Н. Б. Лавровской и других. Было исследовано большое число материалов, обладающих теми или иными уникальными свойствами (например, карбид бора, алмаз, монокристаллический вольфрам, графит и другие). Участники работ установили положительный эффект высоких значений прочности и тугоплавкости материалов.

Для снижения перемешивания на границах слоев исследовались слойки, в которых вместо двух применялось три, четыре и даже пять разных материалов с меньшей разницей плотностей соседних материалов. Эта серия опытов однозначно показала возможность увеличения нейтронного выхода на один-два порядка за счет уменьшения

А. С. Козырев

перемешивания материалов на контактных границах вследствие неустойчивостей.

Интересные данные по определению размеров горячей зоны в термоядерной мишени и регистрации нейтронного выхода на падающей и отраженной ударной волне были получены Г. С. Смирновым. Эти опыты дали дополнительное подтверждение правильности теоретических представлений о процессах, протекающих в термоядерной мишени.

Прилагались большие усилия по поиску обходных путей повышения нагрева термоядерного горючего. Проводились опыты по обжатию сверхзвуковых струй дейтериевой плазмы при их столкновении, подогреву дейтерия электрическим разрядом на ранней стадии газодинамического сжатия. Очень широко, из-за встреченных неожиданных явлений, исследовалась идея предварительного подогрева газообразного термоядерного горючего за счет сверхзвукового истечения его через отверстия в тяжелом слое.

Одновременно с погоней за увеличением нейтронного выхода было начато исследование влияния заранее заданных возмущений различного спектрального состава на нейтронный выход. Экспериментальные данные использовались для тестирования расчетных методик, интерпретации ранее полученных результатов, прогнозирования предстоящих экспериментов.

Практические потребности послужили толчком к началу проведения (1964 г., Е. Е. Мешков с сотрудниками) модельных экспериментов на ударной трубе по исследованию процессов развития неустойчивости и перемешивания на контактных границах различных сред. Экспериментальные и теоретические исследования факторов, отрицательно влияющих на нагрев термоядерной мишени, в дальнейшем приобрели во ВНИИЭФ широкий размах, вылились в самостоятельное направление и получили международное признание. В результате был открыт и исследован новый вид неустойчивости — неустойчивость Рихтмайера — Мешкова.

Разрыв в экспериментальном и расчетном нейтронном выходе заставил начать разработку конструкции и технологии изготовления высокоточного (прецизионного) унифицированного шарового заряда (ПШЗ). Эксперименты на таком заряде позволили бы увеличить размер невозмущенной центральной области и, что весьма существенно, избавили бы получаемые результаты от отклонений, случайно внесенных при подготовке эксперимента.

Создание концепции такого заряда относится к 1963–1964 годам. Колоссальное влияние на облик заряда и предельную точность кумулирующей системы оказал начальник экспериментального цеха отделения 03 ВНИИЭФ М. В. Белкин. Одновременно с расчетно-теоретическими работами по совершенствованию кумулирующей системы велись интенсивные технологические работы по обеспечению предельных требуемых характеристик — как по точности изготовления деталей, так и по свойствам используемых материалов. Разрабатывалось новое высокоточное станочное оборудование, методы и приборы контроля деталей с микронной точностью. Исследовались свойства конструкционных материалов с целью устранения разноплотности и неоднородности механических свойств.

Следующим шагом в прецизионировании был переход с твердого на жидкое взрывчатое вещество (ЖВВ). Эта замена позволила уйти от таких составляющих асимметрии, как разноплотность и разносоставность ВВ, и исключить технологические стыки и зазоры между частями заряда. Неточность геометрических размеров деталей из твердого ВВ при замене на жидкое ВВ устраняется предельно точным (<5 мкм) заданием расстояния от поверхности инициирования ВВ до поверхности кумулирующей системы. Подбор компонентов и исследование детонационных характеристик ЖВВ было начато под руководством А. С. Козырева в 1963 году. Сравнительными исследованиями была подтверждена справедливость рекомендаций А. С. Козырева (1953 г.) о выборе в качестве ЖВВ раствора тетранитрометана (ТНМ, окислитель) в нитробензоле (НБ, горючее).

В экспериментах было установлено, что детонационный фронт смеси из 74 % (мас.) тетранитрометана и 26 % (мас.) нитробензола со слабо отрицательным кислородным балансом имеет зеркально гладкий фронт детонации, а критический диаметр составляет менее 0,05 мм.

Немаловажным обстоятельством явилось то, что по мощности выбранный состав лишь незначительно уступал составам на основе тротила и гексогена. Для компенсации потерь энергии радиус заряда был несколько увеличен.

Замечательным свойством ЖВВ ТНМ + НБ является его хорошая инициируемость при электрическом пробое межэлектродного промежутка, заполненного раствором, но при особых требованиях к параметрам электрического импульса. Установление этого факта открыло реальный путь к созданию действительно прецизионной системы инициирования шарового заряда с ЖВВ.

В интересах получения газодинамического термоядерного синтеза на основе проведенных исследований была разработана серия многоканальных генераторов подрывного импульса с за-

рядным напряжением в десятки киловольт и длительностью фронта 1 нс. В качестве накопителей и передающих линий в генераторе использовался радиочастотный кабель. В итоге была разработана многоточечная (несколько сотен точек) система инициирования в виде искровых разрядников, соединенных в определенные группы и устанавливаемых на внутренней поверхности корпуса заряда. Неточность установки разрядников относительно поверхности кумулирующей системы не превышает 30 мкм.

С ЖВВ в 1981–1999 годах проведено более трех десятков опытов. В девяти из них зафиксирован нейтронный выход $>10^{12}$. Максимальный выход зарегистрирован десятого декабря 1982 года ($\sim 4 \cdot 10^{13}$ нейтронов), и этот результат до сих пор является рекордным для методов инерциального термоядерного синтеза. Температура протекания термоядерной реакции, измеренная в этом опыте по спектру образовавшихся нейтронов, составила 0,65 кэВ, а достигнутая при сжатии плотность ДТ-смеси оценивается величиной ~ 80 г/см^3 при начальной плотности $\sim 0{,}1$ г/см^3.

В последние годы группой сотрудников под руководством Ю. М. Стяжкина расчетно проработана каскадная кумулирующая система с внутренним слоеным ядром и новым механизмом симметризации схождения каскадов к центру. В эксперименте с этой системой разница между расчетным и зарегистрированным в опытах нейтронным выходом снижена почти на два порядка по сравнению с предыдущими результатами.

И это не единственный путь. Исследуются системы с использованием механизма газодинамического подогрева газообразного термоядерного горючего.

Несколько слов о вопросах приоритета.

О работах, ведущихся в КБ-11 по осуществлению термоядерной реакции с помощью взрыва химического ВВ, впервые упомянул Л. А. Арцимович на 2-й Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в 1958 году. Строгие требования секретности, существовавшие в КБ-11 в то время, задержали более детальные публикации о наших работах до 1978 года. Толчком к прорыву послужила статья S. Kaliski в журнале *Nature* (1977 г., т. 269). После нее А. С. Козыреву было дано разрешение на открытую публикацию о работах ВНИИЭФ по данной теме. В результате этого в *Nature* (1978 г., т. 275, с. 476) опубликовано письмо А. С. Козырева, В. А. Александрова и Н. А. Попова, в котором (со ссылкой на упомянутый доклад Арцимовича) указывалось, что в СССР в 1955 году было получено 10^5 нейтронов в импульсе, а в 1963 году максимальный нейтронный импульс составил 10^{11}. Здесь следует назвать также

Одна из модификаций кабельного генератора

F. Winterberg, который в журнале *Kerntechnik* (1982 г., т. 41, № 1, с. 1) упоминает, что в Германии во время второй мировой войны были проведены некоторые работы по ГДТС. К сожалению, более подробную (и достоверную) информацию об этом мы получить не смогли. Смело, однако, можно утверждать, что она не была доступна и А. С. Козыреву. Таким образом, приоритет в работах по газодинамическому термоядерному синтезу принадлежит, безусловно, России и конкретно – РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Гидродинамические неустойчивости

Исследование гидродинамических неустойчивостей на границах раздела разнородных сред необходимо как для разработки ядерных зарядов, так и для фундаментальных исследований ГДТС.

Неустойчивость в газах и жидкостях. Если граница раздела сред разной плотности движется с ускорением и ускорение направлено от легкой среды к тяжелой, то такая граница является неустойчивой. В этом случае начальные возмущения границы быстро растут со временем, и в результате на границе формируется зона турбулентного перемешивания сред. В противоположном случае, когда ускорение направлено от тяжелой среды к легкой, граница будет устойчивой и возмущения границы, колеблясь, со временем затухают.

Эта неустойчивость получила название неустойчивости Рэлея – Тейлора. В литературе можно встретить иногда и другие названия этой неустойчивости: гравитационная неустойчивость, неустойчивость Тейлора, тейлоровская неустойчивость. В этой связи следует заметить, что исследования гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания ведутся во ВНИИЭФ практически со времени его основания, и основные результаты Тейлора были независимо получе-

ны Беленьким и Фрадкиным и описаны в серии неопубликованных отчетов ВНИИЭФ в конце 40-х – начале 50-х годов. Более того, эти авторы пошли гораздо дальше Тейлора и разработали первую полуэмпирическую модель развития зоны турбулентного перемешивания; часть этих результатов была опубликована в 1965 году в большой статье в «Трудах ФИАН». В 1951 году по инициативе А. Д. Сахарова были выполнены первые экспериментальные исследования развития зоны турбулентного перемешивания на границе двух жидкостей (результаты не опубликованы). В 50-х – начале 60-х годов газодинамики провели цикл теоретических и экспериментальных исследований развития возмущений ударных и детонационных волн. Подавляющая часть результатов этих работ также не публиковалась в открытой печати.

Сложность и стоимость реальных систем исключают возможность прямого исследования на них тонких эффектов гидродинамических неустойчивостей.

Это послужило толчком для развития экспериментальных исследований гидродинамических неустойчивостей лабораторными методами. В 1964 году в газодинамическом секторе КБ-11 (ныне ИФВ ВНИИЭФ) Е. Е. Мешковым была начата разработка методики исследований гравитационных неустойчивостей при помощи ударной трубы. В этих экспериментах канал ударной трубы (прямоугольного сечения) разделялся сверхтонкими (десятые доли микрона) пленками, и образовавшиеся замкнутые объемы заполнялись различными газами. Развитие возмущений границы между газами визуализировалось теневыми методами.

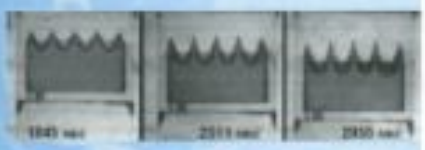
а б в

Хронограммы первых экспериментов на ударной трубе по исследованию неустойчивости, индуцированной ударной волной

И наконец, в конце 1967 года была проведена серия экспериментов, описанных в публикации 1969 года (Е. Е. Мешков. МЖГ, 1969, № 5). Эта статья была переведена на английский язык и получила широкую известность (в современной литературе неустойчивость границы двух сред разной плотности, ускоряемых стационарной ударной волной, чаще всего именуется неустойчивостью Рихтмайера – Мешкова). После этого на ударной трубе продолжились исследования явлений, так или иначе связанных с этой неустойчивостью. Изучались эффект локальной кумуляции, возникающей при отражении ударной волны от возмущенной границы; развитие возмущений фронта волны разрежения; нелинейные эффекты, связанные с развитием возмущений ударных волн и волн разрежения, а также ограничения, накладываемые ими на применимость линейного приближения при исследовании задач, связанных с развитием возмущений в газодинамике.

В этих экспериментах обнаружено (см. рисунок), что граница неустойчива не только в случае, когда ударная волна движется в направлении легкий → тяжелый газ: воздух (ρ_0 = 1,2 г/л) → углекислый газ (1,8 г/л) (а), гелий (0,17 г/л) → фреон-22 (3,6 г/л) (б), но и в обратном направлении: фреон-22 → гелий (в).

Кроме того, на ударной трубе был проведен ряд исследований, связанных с моделированием течений в канале вывода излучений при проведении подземных ядерных взрывов. Для этих целей была использована развитая ранее методика тонкопленочных газовых моделей, но в сочетании с детонирующей смесью ацетилена с кислородом. Большая серия таких экспериментов была посвящена исследованию эффекта захлопывания канала. На основе этой методики были отработаны автозатворы, использованные в качестве защитных сооружений в облучательных опытах, с каналом вывода излучения ядерного взрыва на земную поверхность.



Развитие неустойчивости Рэлея – Тейлора на границе газ – студень

Новый импульс эксперименты на ударных трубах получили в связи с развитием исследований турбулентного перемешивания. Собственно, само явление турбулентного перемешивания на границе двух газов, ускоряемой ударными волнами, было зафиксировано Е. Е. Мешковым еще в 1968 году, но по разным причинам интенсивные исследования турбулентного перемешивания на ударных трубах разных типов начались только с 1973 года.

Эксперимент проводился на ударной трубе в геометрии воздух – гелий – жесткая стенка. Воздух и гелий разделялись тонкой пленкой. Граница раздела газов вначале ускорялась стационарной ударной волной (с числом Маха M = 1,3) и затем тормозилась серией ударных волн, отраженных от жесткой стенки. Визуализация течения осуществлялась теневым методом.

На базе этих моделей были развиты методы численного моделирования турбулентного перемешивания. Работы приобрели широкую известность; опыты в такой же постановке (или близкой к ней) проводились на ударных трубах ряда лабораторий как в СССР и России, так и за рубежом – во Франции, США, Англии и Израиле.

С конца 1970-х годов детонирующая газовая смесь стала применяться при разработке метода исследования нестационарных гидродинамических течений с использованием студней водного раствора желатина. Метод нашел широкое применение в исследованиях неустойчивости Рэлея – Тейлора, с его применением был выполнен целый ряд работ: исследование развития локальных возмущений на неустойчивой границе, исследование развития неустойчивости Рэлея – Тейлора в цилиндрической и сферической геометриях.

Слой студня помещался в прозрачный контейнер (g – 104 м/с^2) сжатым воздухом в канале квадратного сечения с прозрачными стенками. Граница раздела «сжатый газ – студень» неустойчива (в этом случае небольшая прочность студня (~10 кПа) много меньше сил давления сжатого газа (~0,8 МПа), и он ведет себя как обычная жидкость), и в результате малое начальное возмущение поверхности студня быстро нарастает.

На базе метода студней был развит метод жидких слоев, в котором слои жидкости или студня разгоняются в канале давлением сжатого газа. Метод используется в основном для исследования закономерностей развития турбулентного перемешивания на границе газ – жидкость. С его помощью было исследовано влияние турбулентного перемешивания на динамику жидкого слоя, ускоряемого сжатым газом. Развитие этого метода привело к созданию методики по исследованию турбулентного перемешивания при повышенном (1 000 000 м/с^2) ускорении жидкого слоя. Этот результат позволил исследовать влияние ускорения слоя на характер развития перемешивания.

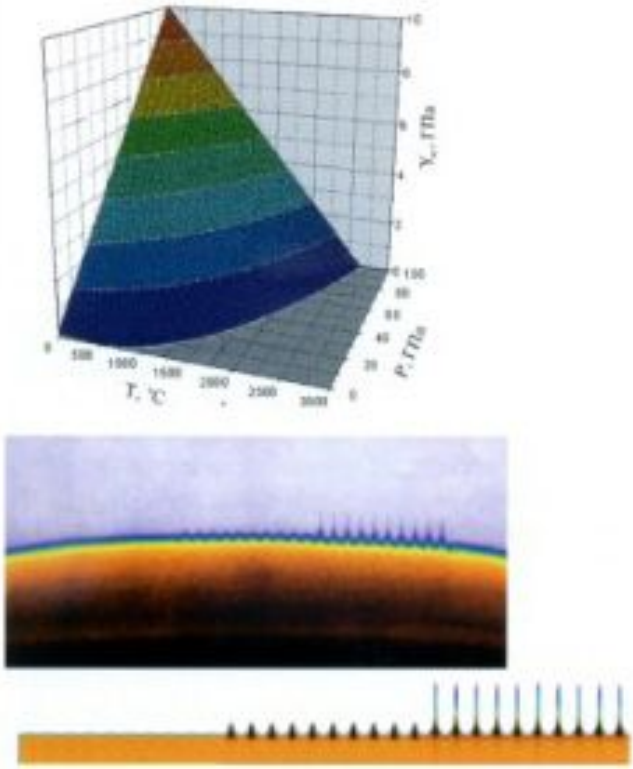
В 1990-х годах была начата разработка новой схемы ударной трубы, в которой драйвером ударной волны является детонирующая смесь ацетилена с кислородом. В этой трубе детонация смеси инициируется синхронно во многих точках, а исследуемой границей является граница между продуктами детонации газовой смеси и невзрывчатым газом. В этой ударной трубе граница ускоряется нестационарной ударной волной; пленка, первоначально разделяющая газы, подвергается деструкции и не влияет на процессы развития зоны турбулентного перемешивания. На основе такой схемы может быть создана ударная труба не только в плоской, но и в цилиндрической и сферической геометриях.

В последние годы разработана методика исследования развития неустойчивости границы двух газов при ее ускорении сильной (с числом Маха до 10) ударной волной на основе схемы ударной трубы с применением в качестве драйвера продуктов детонации смеси ацетилена с кислородом, находящейся изначально под избыточным давлением. Такая методика позволяет расширить область исследований неустойчивости в относительно сильно сжимаемых газах.

Экспериментальные исследования, описанные выше, часто называют модельными. Это название появилось в силу ряда исторических причин, но, строго говоря, напрямую процессы, происходящие в ядерных и термоядерных зарядах, здесь не моделируются. В этих экспериментах исследуются закономерности развития гидродинамических неустойчивостей. Они относятся к классу фундаментальных исследований. Их результаты широко используются при отработке программ для численного моделирования подобных процессов.

Следует отметить, что такого рода исследования проводятся во многих странах мира. Раз в два года проводится Международный семинар по физике перемешивания сжимаемых сред (IWPCTM). На его заседаниях рассматриваются самые различные вопросы развития неустойчивостей. ВНИИЭФ организовал проведение Седьмого международного семинара в России (июль 1999 г., Санкт-Петербург).

В последние годы интенсивно развивается новое направление в исследованиях гидродинамических неустойчивостей. Результаты проведенных ранее исследований и разработанных методов успешно применяют для решения задач, в которых гидродинамические неустойчивости и турбулентное перемешивание являются фактором, не затрудняющим решение, а способствующим ему. Явления турбулентного перемешивания на границе газ – жидкость при определенных условиях могут



Неустойчивость Рэлея – Тейлора в твердых телах

быть использованы для создания аэровзвесей диспергированных жидкостей и других диспергированных сред. Подобные аэровзвеси могут найти широкое применение при тушении пожаров, приготовлении горючих смесей в двигателях внутреннего сгорания для снижения взрывных нагрузок и локализации вредных (радиоактивных) аэрозолей и пыли.

Неустойчивость в средах с прочностью. В конце 60-х – начале 70-х годов Р. С. Осиповым, А. Л. Михайловым и А. И. Паленовым были начаты систематические исследования развития гравитационных неустойчивостей в металлах с применением методики постопытного металлографического анализа сохраняемых в герметичных капсулах образцов. В этих исследованиях основное внимание уделялось ожидавшемуся эффекту скачкообразного падения устойчивости формы границ раздела с заданными на них гармоническими возмущениями (или с возмущениями на фронте ударной волны) при термическом разупрочнении металлов и, прежде всего, вблизи точки их ударно-волнового плавления. Этот эффект действительно был зафиксирован в эксперименте и послужил предметом ряда публикаций и патентов на изобретения.

Последующее использование в качестве исследуемых объектов α-радиоактивных веществ и применение тонких бериллиевых мишеней позволило зафиксировать динамику развития неустойчивостей и турбулентного перемешивания металлов.

Современное состояние диагностической аппаратуры (прежде всего рентгенографической техники), а также двумерные методы численного моделирования позволили специалистам ВНИИЭФ перейти в 90-х годах к систематическим исследованиям динамической прочности материалов. На базе этих исследований в совокупности с другими методами, приведенными в разделе «Динамическая прочность», удалось построить ряд моделей определяющих уравнений, достаточно адекватно описывающих динамику деформации материалов в широком диапазоне скоростей 10^{3}–10^{9} $с^{-1}$. Определение параметров этих моделей для каждого материала является предметом экспериментальных исследований.

С переходом к реальным материалам, используемым в конструкциях, гравитационные неустойчивости из объекта исследований превратились в инструмент их проведения.

Одним из принципиальных результатов, полученных методом возмущений, стало обнаружение значительного повышения динамического предела текучести материалов при квазиизэнтропическом нагружении по сравнению с ударно-волновым. Объяснение этому видится сейчас в «мгновенной потере сдвиговой прочности» на фронте ударной волны благодаря проявлению эффекта гетерогенного деформирования в узких (l ~ 1 мкм) полосах локализованного сдвига с последующей релаксацией течения.

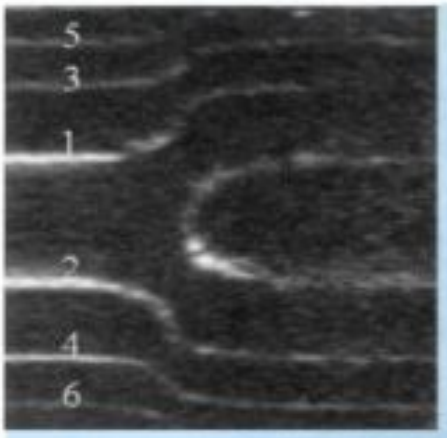
Гетерогенность деформирования металлов на фронте ударной волны с периодом ~10 мкм зарегистрирована в природном уране методом лазерной доплеровской интерферометрии по различию формы и амплитуды упругого предвестника в пятне зондирования размером ≥100 мкм.

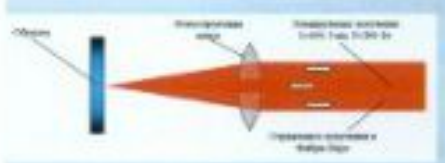
Частный случай гравитационной неустойчивости Рихтмайера – Мешкова – неустойчивость свободной границы ускоряемых ударной волной лайнеров – также представляет практический интерес и проявляется в выбросе опережающего облака мелкодисперсных частиц. Основными причинами этого эффекта являются шероховатость свободной поверхности, структурные неоднородности материала, неоднородность (разнодинамичность) течения за фронтом ударной волны и отмеченная выше гетерогенность деформирования материала (сдвиговое деформирование).

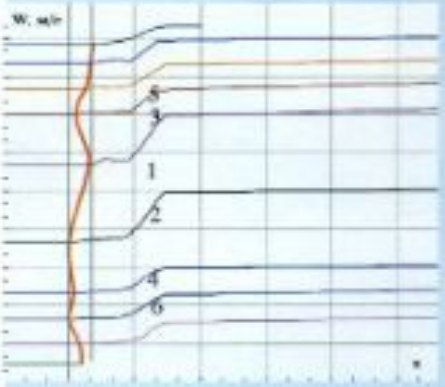
Гравитационные неустойчивости начинают играть доминирующую роль при эксплозивном (разлет вовне) объемном расширении, разрушении и диспергировании материала, если металл

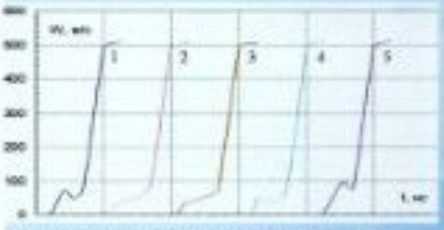
плавится в ударной волне или в последующей волне разрежения. В этих исследованиях неустойчивость опять играет важную роль инструмента для определения фазового состояния вещества и мезомеханики разрушения.

Следующий классический вид неустойчивости – сдвиговая неустойчивость при тангенциальном разрыве скоростей, или неустойчивость Кельвина – Гельмгольца, – также проявляется в металлах при интенсивных динамических течениях. Этому явлению посвящено множество публикаций ученых ВНИИЭФ. Наиболее интенсивное развитие возмущений наблюдается в случае сверхзвукового значения числа Маха (М ≅ 1,1–1,5) фазовой скорости волны, вызывающей сдвиг. В экспериментах последних лет зафиксировано даже развитие сдвиговой неустойчивости на контактной границе металл – продукты взрыва.









Исследование релаксации упругого предвестника

Взрывчатые вещества для ядерных зарядов

История развития и совершенствования ядерного щита нашей страны непосредственным образом связана с историей разработки ВВ для ядерных зарядов, так как ВВ в большой степени обусловливают тактико-технические и эксплуатационные характеристики ядерных зарядов. Именно поэтому применяемые в зарядах взрывчатые вещества (составы) должны отвечать одновременно большому ряду требований: быть технологичными при изготовлении и переработке в детали, обладать необходимой мощностью, приемлемой чувствительностью к внешним воздействиям и требуемыми физико-механическими характеристиками, быть химически и физически стойкими, совместимыми с другими конструкционными материалами, экологически безопасными и относительно дешевыми.

Естественно, что требования к ВВ повышались по мере развития ракетной техники и зарядостроения. Уже в начальный период работ над ядерным оружием было ясно, что улучшение эксплуатационных характеристик заряда невозможно без замены традиционных составов (например, тротил-гексогена, или ТГ) на новые.

Работа, необходимая для их получения, проводилась по следующим основным направлениям:

– синтез новых мощных ВВ (НМВВ);

– широкое исследование взрывчатых, детонационных, физико-химических, физико-механических, теплофизических и других свойств НМВВ и составов на их основе;

– разработка рациональных технологий производства НМВВ, составов на их основе и технологий переработки взрывчатых составов (ВС) в детали.

В течение 1950-х годов были синтезированы десятки новых индивидуальных ВВ, в результате чего появилась возможность разработки новых мощных составов применительно к использованию их в ядерных зарядах.

Для экономии времени параллельно с вышеуказанными работами специалисты по ВВ рассматривали возможность замены сплава ТГ на другой взрывчатый состав, который бы содержал уже выпускаемые промышленностью компоненты в нужных соотношениях. В качестве такого состава для использования в ядерных зарядах был предложен ВС на основе гексогена и тротил-полимерной связки. Это было существенным шагом вперед, и новый состав стал объектом широких исследований.

ИВК «Технолог» для контроля технологических параметров при прессовании ВВ

Комплекс «Вулкан ВМ» для определения параметров термического разложения ВВ

ИВК «Турбомасс»

Внедрение термопластичного ВВ было связано с решением двух сложных технологических проблем: изготовлением многокомпонентных ВС со стабильными параметрами и их переработкой в детали.

Положение осложнялось тем, что отечественная промышленность подобными технологиями не располагала. Потребовалась огромная работа по организации и оборудованию производственных участков, созданию инструмента, различной технологической оснастки, отработке технологических режимов. Работа сопровождалась научными исследованиями, которые заключались в широком изучении нового ВС применительно к условиям использования, в том числе и для обоснования безопасности осуществляемых технологических процессов.

В итоге в середине 1950-х — начале 1960-х годов во ВНИИЭФ были получены следующие результаты:

— впервые в стране была разработана технология изготовления из термопластичного ВВ крупногабаритных деталей со стабильными параметрами;

— разработаны и освоены в производстве принципиально новые конструкции дистанционно разбираемого технологического оборудования для изготовления деталей из термопластичного ВС;

— разработан способ стабилизации характеристик деталей с использованием метода искусственного старения;

— разработаны методики контроля качества ВВ и деталей из них.

И самое главное, уже в середине 1950-х годов были заложены основы дальнейшего прогресса в технологии изготовления деталей прессованием.

Применение новых термопластичных ВВ в изготовлении ядерных зарядов позволило повысить их эксплуатационные характеристики.

Одновременно продолжалась работа по созданию новых мощных ВС. Удалось разработать ряд рецептур на основе различных классов нитросоединений, одна из которых была предложена для изучения. В течение 1956—1959 годов всесторонние исследования показали, что применение этого ВС в ядерных зарядах позволило бы заметно повысить их эффективность. Однако высокая чувствительность такого состава к механическим воздействиям привела к отказу от его использования. Опыт, полученный при работе с новыми составами, оказался весьма полезным, так как позволил определить направление дальнейших работ по ВВ применительно к задачам 60-х годов по усовершенствованию и разработке новых ядерных зарядов.

Период 1961—1964 годов отмечен появлением целого ряда новых ВС, основным преимуществом которых являлась повышенная физическая стойкость и стойкость к температурным перепадам.

Качественным скачком в области изыскания ВВ для зарядов стала разработка в середине 1960-х годов октогенового ВС на основе тротилцеллюлозной связки.

Разработка первого октогенового термопластичного ВС была отмечена Государственной премией (1970 г.).

Одновременно с решением задач по улучшению свойств ВВ для изготовления деталей проводились широкие исследования по повышению безопасности при снаряжении и эксплуатации зарядов и совершенствованию их узлов и элементов. Первое направление было связано с разработкой безопасного (без инициирующих ВВ) синхронного высоконадежного электродетонатора. Второе — с разра-

боткой пластичных ВВ на основе ТЭНа, или пентаэритрит-тетра-нитрата (ВНИИЭФ), и гексогена (ВНИИТФ). Внедрение пластичных ВВ позволило создать гамму конструктивно новых типов ядерных зарядов и уменьшить их габариты при сохранении мощности.

1970–1980 годы характеризуются целеустремленной работой над мощными термостойкими ВС на основе октогена для применения в зарядах без температурных ограничений их эксплуатации во всех точках земного шара.

В результате широких исследований различных октогеновых составов с инертными связками такие ВС были созданы. По технологическим характеристикам эти составы существенно отличались от предыдущих взрывчатых композиций, и поэтому их внедрение представляло собой чрезвычайно сложную комплексную задачу. Необходимо было разработать совершенно новые (не имеющие аналогов в отечественной промышленности) технологии изготовления как собственно ВВ, так и деталей из них, которые требовали существенно более жестких технологических режимов. Решение технологических вопросов изготовления деталей было особенно сложным. Необходимо было создать научные основы технологии изготовления деталей из ВС, учитывая свойства новых составов, и выполнить инженерно-технические и технологические работы по следующим направлениям:

– создать новые конструкции технологического оборудования, обеспечивающего относительную безопасность процесса изготовления ВС и его переработки в детали при очень жестких режимах;

– разработать системы «обогрев-охлаждение» и некоторые другие.

Все поставленные вопросы были успешно решены, и новые октогеновые составы внедрены в серийное производство. При этом произошел ряд взрывов, к счастью, без человеческих жертв. Причины ЧП были однозначно установлены, что способствовало значительному расширению знаний в области конструирования и эксплуатации технологического оборудования для ВВ, организации самого процесса изготовления деталей, модернизации защитных сооружений. В итоге была обеспечена повышенная безопасность работ с ВВ. Разработчики этих ВС также получили Государственную премию (1983 г.).

Для качественного повышения уровня безопасности ядерных зарядов внимание разработчиков ВС в 1980–1990 годы было обращено на создание, исследование и внедрение ВС с более низкой чувствительностью, чем ВС на октогене. Результаты этих исследований были удостоены премии Правительства РФ за 2004 год.

В настоящее время главным направлением работ с ВВ является глубокое изучение их основных свойств, обеспечивающих безопасность взрывных устройств при расширенных температурно-временных условиях эксплуатации ядерных зарядов, а также в аварийных и околокритичных условиях. В то же время ведутся исследования и новых перспективных ВВ.

В приведенном выше кратком обзоре отражены только основные, завершенные этапы истории создания ВВ для ядерных зарядов. Естественно, что выбор той или иной целевой рецептуры ВВ осуществлялся только после широких исследований ряда родственных рецептур. Накопленный опыт работы с ВВ различного назначения позволил создать методологию разработки ВВ с заданными целевыми параметрами. Эта методология используется также при деталь-

Комплекс ИК-Фурье

Автоматизированная установка МИРИ-50К для испытания ВВ на растяжение, сжатие, изгиб, работающая в режиме ручного и программного управления

Установка для разборки кумулятивных зарядов

Взрывное устройство для демонтажа морских нефтедобывающих опор в Мексиканском заливе, разработанное по заказу фирмы Halliburton, США. Взрывной резак и конструкция устройства

ном исследовании того или иного ВВ, представляющего интерес для отечественных и зарубежных специалистов.

А теперь о трудностях при внедрении ВС. Их было немало. Перечислять их все не имеет смысла, хотя о некоторых из них, связанных с вопросом: быть или не быть составу, – следует упомянуть. Такой вопрос был чрезвычайно острым при внедрении термопластичного октогенового ВС.

А обусловлен он был взрывами при прессовании натурных деталей в серийном производстве. Оба взрыва произошли в 1981 году (к счастью, без жертв). Как установила комиссия, причиной первого взрыва стала пресс-форма, конструкция которой не исключала сдвиг (или разворот) элементов пресс-формы друг относительно друга при наборе давления, что и обусловило вспышку ВС, находящегося в зазоре между трущимися поверхностями, а затем и взрыв. После взрыва была выполнена целенаправленная работа по формулированию требований к конструкциям пресс-форм, используемым в отрасли, и разработан специальный ОСТ.

Не успел серийный комбинат оправиться от стресса, вызванного первым взрывом, как произошел второй взрыв при разборке пресс-формы для извлечения детали (эта операция считалась относительно безопасной). Естественной была реакция: отказаться от использования ВС из-за высокой чувствительности. Такой же позиции придерживалось руководство Минсредмаша. Ситуация сложилась очень серьезная.

И только благодаря высокой квалификации специалистов ВНИИЭФ и ВНИИТФ, которые принимали участие в работе комиссии по установлению причины взрыва, составы были спасены. Причиной взрыва оказались некоторые технические особенности процесса разборки пресс-формы. В результате были приняты меры, исключающие подобные ситуации, а новый ВС нашел широкое применение.

Трудности при внедрении пластичного ВС на основе высокодисперсного ТЭНа были совсем иного рода и носили бюрократический характер. Кто-то из руководства Министерства посчитал, что одного пластичного ВС на основе гексогена вполне достаточно, хотя еще в начале 1960-х годов была показана перспективность использования нового ВС. В 1966 году на имя Ю. Б. Харитона и Е. А. Негина пришло письмо, в котором были такие строки: «Главное управление считает, что разработка состава на основе ТЭНа вообще нецелесообразна...».

Очень хорошо, что специалисты ВНИИЭФ и его руководство не согласились с этим мнением.

Теперь расскажем о том периоде в истории создания ВС для ядерных зарядов, который характеризуется разрушением системы обеспечения стабильности качества ВС, созданной многолетним трудом специалистов и проверенной на практике. Начало этого периода относится к середине 1990-х годов, когда в связи с приватизацией ряда производств, входящих в технологическую цепочку изготовления ВС для ядерных зарядов, они были перепрофилированы на выпуск коммерческой продукции. В результате в стране прекратился выпуск необходимых компонентов ВС. При этом некоторые технологии были безвозвратно утеряны.

Сложившаяся ситуация была очень тяжелой, а с учетом экономического состояния страны – близкой к критической. Для восстановления системы бесперебойного обеспечения отрасли ВС необходимо было создать ряд замещающих производств, разработать

новые технологии и при этом обеспечить качество всех ВС на том же уровне, что и при внедрении их в ядерные заряды.

Целенаправленная деятельность по обеспечению Минатома ВС осуществляется с 1999 года на основании целевой отраслевой программы «Обеспечение Минатома России взрывчатыми составами». Во ВНИИЭФ основным исполнителем работ по этой тематике является отдел ИФВ, возглавляемый до 2005 года Л. В. Фомичевой, а затем С. А. Вахмистровым.

К настоящему времени ВНИИЭФ, ВНИИТФ, ЭХП и привлеченные организации создали необходимые замещающие производства для изготовления компонентов ВС, разработали новые технологии, обеспечивающие требуемые качества ВС.

Отметим, что, несмотря на масштабность работ по обеспечению Росатома ВС, в ИФВ постоянно проводятся фундаментальные исследования свойств ВВ.

Главная цель исследований на ближайшие годы – развитие науки в областях, определяющих эффективные технические характеристики и условия эксплуатации ВС в ядерных зарядах и ядерных боеприпасах на всех этапах жизненного цикла. Основными направлениями исследования ВВ являются:

– разработка новых методов и методик исследования физико-химических процессов, происходящих в ВВ при различных внешних воздействиях (тепловых, механических, ударно-волновых, комплексных);

– исследование ВВ низкой чувствительности и повышенной мощности, которые могут стать альтернативой применяемым в настоящее время ВВ;

– исследование перспектив применения в ВС нанотехнологий;

– изучение многостадийного характера определяющих химических реакций термического разложения ВВ и их влияния на развитие теплового взрыва, воспламенение ВВ и переход горения во взрывчатое превращение;

– изучение процессов зарождения, развития и распространения взрыва (в том числе детонации) в ВВ;

– развитие представлений о физико-химических процессах, происходящих при старении ВС;

– разработка математических моделей и программ, описывающих ударно-волновые и детонационные процессы в ВВ, а также поведение ВС при различных внешних воздействиях;

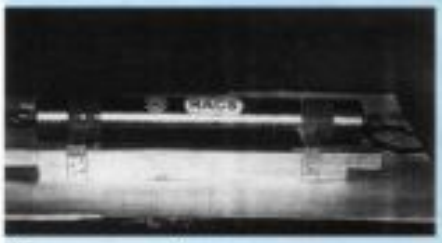
– разработка научных основ создания ВВ и ВС с заданными параметрами по чувствительности, мощности, прочности, термостойкости;

– разработка научных основ утилизации ВС из ядерных зарядов и ряд других исследований.

Приложения взрывных технологий

В практической деятельности ВНИИЭФ для решения задач в рамках основной тематики давно использовались такие известные взрывные технологии, как сварка взрывом, штамповка, компактирование материалов, динамический синтез новых веществ (алмаз, боразон и др.).

Ученые института успешно решали проблемы, связанные с интенсификацией добычи нефти и газа, тушением газовых факелов. Ими разработана технология взрывной дистанционной разборки



Взрывное устройство комбинированного кумулятивно-фугасного действия для демонтажа многослойных металлобетонных трубопроводов, разработанное по заказу Сандийских национальных лабораторий (США)

Взрывной демонтаж аварийной трубы ТЭЦ высотой 30 м. Разрушенный объект направленно падает без ущерба для расположенных вблизи производственных помещений и коммуникаций

Автозатвор до и после срабатывания

Автозатвор многократного действия для аварийного перекрытия трубопроводов перекачки этилена, установленный на предприятии «Капролактам» (г. Дзержинск)

аварийных боеприпасов без взрыва основного (разбираемого) заряда, созданы способы и устройства локализации продуктов взрыва.

Мобильные взрывные устройства. В ИФВ ВНИИЭФ на основе ударных стендов взрывного типа, применяемых для исследования механической стойкости конструкций (стенды «Ствол»), разработаны мобильные взрывные устройства многократного действия с использованием бризантных ВВ. Эти легко разбираемые транспортабельные установки прекрасно зарекомендовали себя при резке различных конструкций, разборке боеприпасов, дроблении негабаритов горных пород, резке шин большегрузных (карьерных) автомобилей и других технических операциях.

Для дробления крупногабаритных деталей из ВВ разработан динамический метод «взрывных клиньев», основанный на теории хрупкого разрушения тел при возмущении и самопроизвольном распространении трещин.

Для взрывной фрагментации массивных стальных конструкций успешно применяются оригинальные устройства, защищенные патентами. В их работе используется эффект «ударных волн разрежения» в средах с фазовыми переходами (явление, описанное в разделе «Динамическая прочность»).

Эти устройства требуют при работе таких количеств ВВ, которые почти на порядок меньше расходуемых другими установками, известными в мировой практике.

Решение проблемы безопасности объектов энергетики

Заметное место в прикладных разработках ВНИИЭФ занимают вопросы безопасности энергонасыщенных объектов атомной энергетики и нефтегазовой промышленности.

Специалистами ИФВ разработано несколько типов «пассивных автозатворов», которые без вмешательства человека перекрывают транспортный трубопровод в течение нескольких десятков миллисекунд. Автозатворы срабатывают при аварийном изменении параметров потока, например, при взрывоподобной разгерметизации системы.

На принципе пассивного привода основано действие и устройства аварийного перекрытия вентиляционных каналов АЭС и других объектов, разработанного по заказу АЭП, г. Москва, и ЗАО «Атомстрой экспорт». Разработка находится в серийном производстве.

Это устройство модульного типа может устанавливаться в вентиляционных каналах любого размера, поскольку снабжено набором секций (модулей), подходящих к конкретным размерам проходного сечения.

В ряде случаев на энергонасыщенных объектах целесообразно использовать затворы активного типа, срабатывающие по командам автоматики или по решению оператора.

На энергонасыщенных объектах следует иметь «штатный» набор внешних накладных взрывозатворов для аварийного перекрытия трубопроводов.

Одно из маловероятных, но в принципе возможных проявлений предельно тяжелой запроектной аварии, которая может произойти на ядерных реакторах корпусного типа, – расплавление материалов ак-

тивной зоны (кориума) с их попаданием в теплоноситель. Следствием такого развития событий может быть паровой взрыв, грозящий разрушением корпуса реактора и выходом радиоактивных материалов в окружающую среду. (Природным аналогом такого явления может рассматриваться, например, извержение подводных вулканов.)

Во ВНИИЭФ создано несколько моделирующих физических установок для исследования условий протекания и масштабов проявления фазового взрыва.

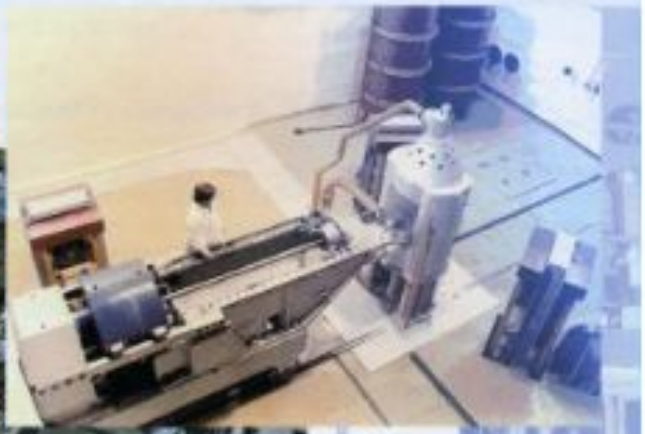
Масштаб последствий от попадания расплавленного кориума в ловушку ядерного реактора зависит от динамических физико-механических свойств (прочность, пластичность, трещиностойкость) материалов ловушки.

Специалистами ИФВ активно изучаются динамические свойства материалов кориума и перспективных керамических материалов, демпферов механических и тепловых нагрузок ловушек.

Устройство аварийного перекрытия вентиляционных каналов АЭС и других объектов

Перекрытие взрывом трубопровода калибром от 20 до 424 мм

ΔC4



Институт ядерной и радиационной физики

Страницы истории

Сектор 4 был создан 1 мая 1952 года приказом директора КБ-11 А. С. Александрова «... с целью экспериментального обоснования в лабораторных и экспедиционных условиях идей, методов расчета и характеристик изделий предприятия...». Первым начальником сектора был Виктор Александрович Давиденко, его заместителем по технической физике – Аркадий Адамович Бриш.

Сектор сформировался на базе отдела 27 и лабораторий 23 и 29 научно-исследовательского сектора 20. Идеологом и организатором научных исследований в области ядерной физики был Георгий Николаевич Флёров.

Сектор 4 и отделение 04 возглавляли: В. А. Давиденко (1952–1957 гг.), И. И. Глотов (1957–1971 гг.), А. И. Павловский (1971–1993 гг.), В. С. Босамыкин (1993–1996 гг.).

Научными руководителями сектора были А. А. Бриш (1952–1953 гг.), Ю. А. Зысин (1953–1958 гг.), Ю. С. Замятнин (1958–1966 гг.), В. Г. Заграфов (1966–1969 гг.), А. А. Малинкин (1969–1985 гг.), А.М. Воинов (1985–1997 гг.).

В 1997 году отделение 04 было преобразовано в Центр ядерных и радиационных исследований (ЦЯРИ), а в 2000 году ЦЯРИ реорганизуется в Институт ядерной и радиационной физики (ИЯРФ) в составе трех научно-исследовательских отделений, производственно-технологического комплекса, службы главного инженера и 16 отделов, служб и цехов. Начальником ЦЯРИ, а затем директором ИЯРФ назначен В. Т. Пунин, первым заместителем по

В. А. Давиденко

Г. Н. Флёров

И. И. Глотов

науке – Н. В. Завьялов, главным инженером – В. Ф. Басманов.

За время работы в отделении Героями Социалистического Труда стали В. А. Давиденко, В. А. Цукерман, А. И. Павловский; лауреатами Ленинской премии стали 26 человек, лауреатами Сталинских и Государственных премий – 62 человека, лауреатами премии Ленинского комсомола – 5 человек, лауреатами премии Правительства РФ – 8 человек. Многие сотрудники награждены орденами и медалями СССР и России.

В отделении работают более двадцати докторов и почти семьдесят кандидатов наук. Научно-исследовательская деятельность, конструкторские разработки, уникальные возможности экспериментальной базы ИЯРФ получили заслуженное признание в России и за рубежом. ИЯРФ сотрудничает более чем со 100 внешними российскими и зарубежными организациями.

Создание и развитие экспериментальной базы ИЯРФ было бы невозможно без участия многих руководителей, специалистов и рабочих ВНИИЭФ. Значительный вклад в эти работы на разных этапах внесли директора ВНИИЭФ Б. Г. Музруков, Л. Д. Рябев, Е. А. Негин, В. А. Белугин и Р. И. Илькаев; научные руководители Ю. Б. Харитон и В. Н. Михайлов; главные инженеры Н. А. Петров, Ю. А. Туманов; специалисты и рабочие завода ВНИИЭФ под руководством Е. Г. Шелатоня, С. И. Потапова, Г. В. Комарова.

Ядерно-физические и модельные исследования

Для разработки ядерных и термоядерных зарядов требовалось с достаточной точностью знать ядерно-физические константы (ЯФК) основных материалов, входящих в состав зарядов. На начальном этапе работ информация о ЯФК, в том числе о наиболее важных – нейтронных, была крайне ограничена. Данные, опубликованные в научной литературе, были ненадежными, часто носили противоречивый характер.

Для конструирования ядерных зарядов прежде всего требовались ЯФК основных делящихся материалов (ДМ). Необходимо было также провести критмассовые измерения. Для выполнения этих работ в КБ-11 была создана лаборатория под руководством Г. Н. Флёрова (будущего академика АН СССР). Первыми ее сотрудниками стали Ю. С. Замятнин, Д. П. Ширшов, А. А. Березин и другие. Позднее создается лаборатория нейтронно-физических измерений под руководством А. Н. Протопопова. Наряду с измерением критических масс в этих лабораториях изучались процессы взаимодействия нейтронов с ядрами делящихся и конструкционных материалов, велись работы по обоснованию КПД заряда, решались и другие задачи.

Для конструирования водородной бомбы требовалось расширить круг ядерно-физических исследований. Наряду с изучением термоядерных реакций необходимо было провести измерения основных характеристик реакций наработки трития, определить ЯФК делящихся и конструкционных материалов в интервале энергии нейтронов до 14 МэВ.

Следует отметить ядерно-физические измерения на нейтронах ядерного взрыва с использованием методики «по времени пролета», позволившей проводить измерения при минимальных количествах изучаемого изотопа и при его высокой собственной активности.

Инициаторами этих работ были Ю. С. Замятнин, В. М. Горбачев, Н. А. Уваров и другие.

Исследования в области физики малонуклонных систем с использованием «безнейтронных» термоядерных реакций $^{3}He(^{3}He, 2p)^{4}He$, $^{6}Li(p, \alpha)^{3}He$, $^{11}B(p, 3\alpha)$ и, наоборот, реакций с нейтронным выходом $^{3}H(t, 2n)^{4}He$, $^{7}Li(t, 2n)2^{4}He$ и т. д. позволили измерить сечения реакций. Эти результаты отражены в справочнике «Ядерно-физические константы термоядерного синтеза» (М.: ЦНИИатоминформ, 1989 г.). Справочник переведен МАГАТЭ на английский язык и используется в ядерных лабораториях мира.

Большой круг проблем по физике деления тяжелых элементов успешно решался с помощью линейных ускорителей электронов и электростатических ускорителей ионов. Были измерены сечения деления ядер изотопов трансурановых элементов и средняя множественность нейтронов при делении в широком диапазоне энергий налетающих нейтронов. Особо следует отметить измерения делимостей тяжелых ядер с помощью реакций (d, pf) и (t, pf). Важным направлением являются исследования сечений деления и радиационного захвата для короткоживущих нечетно-нечетных актинидов.

Исследование фотоядерных реакций проводилось на бетатроне Б-30 с максимальной энергией электронов 30 МэВ. Эти работы имели целью получение надежных данных о структурных особенностях энергетического хода сечений фотоядерных реакций в области гигантского резонанса. Были разработаны оригинальные методики измерений и обработки результатов. Это позволило провести исследование тонкой структуры гигантского резонанса для ряда ядер.

Интересные результаты были получены при измерении сечения реакции $^{3}H(t, 2n)^{4}He$ в области малых энергий, при поиске изобар-аналоговых резонансов в реакции $^{7}Li(t, p)^{9}Li$, когда было обнаружено аномальное поведение функции возбуждения вблизи сильного нейтронного порога в канале $^{7}Li(t, n)^{9}Be^{*}$, и др.

Были уточнены спектры нейтронов деления ^{235}U нейтронами с энергией 14 МэВ под разными углами к направлению разлета осколков в системе координат осколков. Также 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, ^{245}Cm.

Ввод в эксплуатацию линейного ускорителя электронов с энергией 15 МэВ позволил выполнить большой комплекс исследований механизма образования γ-квантов на широком спектре нейтронов. В частности, были впервые получены и опубликованы данные для γ-квантов с энергией 1–5 МэВ для ядер Cu, Mo и W, включенные в мировую систему констант.

С начала 1950-х годов по инициативе И. В. Курчатова в КБ-11 проводились модельные измерения, представляющие важные эксперименты на сборках, в которых воспроизводились структура и геометрия первых термоядерных зарядов для определения в лабораторных опытах их основных нейтронно-физических характеристик. Сравнение измеренных значений этих параметров с расчетными позволило оценить верификацию расчетов зарядов, существенно более сложных по идеологии и конструкции. Модельные эксперименты при этом рассматривались как необходимая составная часть

А. И. Павловский

В. С. Богамыкин

В. Т. Пупин

всего комплекса НИОКР по созданию термоядерных зарядов, т. е. как завершающий этап лабораторной отработки зарядов перед отправкой их на полигон. Были разработаны уникальные методы измерений (как сказал А. Д. Сахаров, «ювелирные по материалам и исполнению»), в результате которых выявлена необходимость коррекции системы, принятой в расчетах зарядов, и введения ядерных констант и поправок в значения параметров, найденные расчетом. Ввиду важности таких экспериментов они были организованы по принципу многократного дублирования и проводились одновременно несколькими привлеченными институтами разных ведомств. Каждый из них предлагал и использовал свой, отличный от других, метод измерения: метод «накопления» трития, балансный метод (институты Академии наук), метод прямого счета актов образования трития, а также актов деления урана в слоях модели заряда счетчиками специальной конструкции (сектор 4 ВНИИЭФ). В результате анализа использованных методов и полученных с их помощью экспериментальных данных метод ВНИИЭФ был признан вне конкуренции по надежности, оперативности, мобильности и обеспечению наиболее достоверных результатов, которые и были рекомендованы для практического использования в расчетах зарядов.

Итоговой оценкой «модельных опытов» — значительного вклада сотрудников сектора 4 в создание термоядерных зарядов — стало присуждение руководителям и ведущим исполнителям этих экспериментов Сталинских премий высших степеней (Г. П. Антропов, Ю. А. Зысин, А. А. Лбов, П. П. Лебедев, А. И. Павловский) и награждение их орденами в 1953—1956 годах.

Физические измерения применительно к созданию ядерных зарядов

Важное место в работах отделения всегда занимали измерения параметров ядерных зарядов во время проведения их полигонных испытаний. Физические измерения при взрыве позволяют получать информацию о режиме работы ядерного заряда, его конкретных параметрах, правильности выбранной расчетно-конструкторской схемы, а также определять воздействие поражающих факторов ядерного взрыва на различные объекты военного и гражданского назначений и выбор необходимых средств защиты.

Первые наземные и воздушные опыты были направлены на определение энерговыделения заряда и на изучение явлений, сопровождающих атомный взрыв. Энерговыделение (тротиловый эквивалент) определялось двумя основными методами: методом «огненного шара» по размерам и температуре огненного шара (полушария для наземных опытов) и на основе радиохимического анализа проб из радиоактивного облака.

Имерения проводились в основном институтами АН СССР (в первую очередь ИХФ АН СССР, ГОИ, РИ АН СССР и рядом других). Однако уже в начале 1950-х годов наметился постепенный отход академических институтов от непосредственного участия в полигонных исследованиях. Центр тяжести этих работ переместился во ВНИИЭФ и другие организации Минсредмаша.

Принципиальное значение для развития работ сектора 4 имели опыты с термоядерными зарядами РДС-6с и РДС-37. Основное внимание было сконцентрировано на доказательстве факта протекания термоядерного взрыва и термоядерной реакции и определении их параметров.

В период 1956—1962 годов в секторе 4 проводилась интенсивная работа по созданию комплекса гамма-нейтронных измерений применительно к атмосферным испытаниям атомных и термоядерных зарядов. Разрабатывались новые методы измерения потоков ДТ-нейтронов, нейтронов спектра деления и кинетики протекания термоядерной реакции, также был выполнен большой комплекс радиохимических исследований.

В работах по основной тематике ВНИИЭФ широкое применение нашли: метод короткоживущих нейтронных индикаторов; метод времени пролета, обеспечивающий спектрометрию нейтронов различных групп с высоким энергетическим разрешением; метод детального изучения параметров импульса термоядерных нейтронов для определения режима протекания термоядерной реакции при взрыве; высокочувствительные методы определения малых потоков нейтронов. Для изучения кинетики протекания ядерных реакций при взрыве были разработаны высокоэффективные гамма-методы.

За создание новой экспериментальной техники и исследования, проведенные при ядерных испытаниях, большая группа ученых ВНИИЭФ была удостоена высокого звания лауреатов Ленинской премии (Е. К. Бонюшкин, А. И. Веретенников, В. М. Горбачев, Ю. С. Замятнин, Ю. А. Спехов, О. К. Сурский, Н. А. Уваров).

Особенно бурное развитие экспериментальные методы получили с переходом к подземным испытаниям. С 1961 года их проводили в штольнях, а с 1965-го — в скважинах согласно Московскому договору о запрещении ядерных испытаний в трех средах (1963 г.). Подземные испытания кардиналь-

но изменили подход к физическим измерениям. Некоторые методы (например, оптический метод «огненного шара») оказались непригодными, другие требовали коренной переработки. Вместе с тем подземные испытания позволили проводить измерения с коллимированными пучками излучения в условиях фиксированной «хорошей геометрии».

Предложение по редакции первого подземного испытания в горизонтальной штольне и постановке физических измерений было разработано в 1959 году. Были сформулированы технические требования на проектирование штольни, а также определены направления развития физических измерений при подземных испытаниях. Во многом эти предложения сохранились на последующие годы.

Физические принципы экспериментальных методов, применяемых как в штольнях, так и в скважинах, несомненно, единые. Однако постановка и технология измерений в скважине и штольне существенно отличаются. В скважинах технически трудно применять каналы вывода излучений (КВИ) большой длины, как это делается в штольнях. Требуются специальные датчики, работающие в условиях интенсивных полей нейтронного и гамма-излучений, и быстродействующая аппаратура, которая регистрирует сигналы до прихода ударной волны (~ 10^{-2} с). В ноябре 1960 года сотрудниками ВНИИЭФ было выдвинуто предложение о прямом методе измерения энерговыделения изделий при испытаниях. Предполагалось измерять параметры распределения ударной волны в специальной среде — в горной породе, окружающей концевой бокс с размещенным в нем зарядом. Метод «грунтового шара» успешно применялся с 1965 года как основной для определения энерговыделения мощных зарядов. Одна из разновидностей этого метода — гидродинамический метод. Он получил международное признание и использовался при реализации советско-американской программы СЭК (совместный эксперимент по контролю).

В то же время были применены эффективные методы определения энерговыделения зарядов, основанные на других принципах. Так, в 1964 году специалисты ВНИИЭФ предложили определять энерговыделение зарядов по измерению параметров тепловой волны. Совместная разработка ВНИИЭФ, ВНИИТФ и НИИИТ завершилась в дальнейшем выпуском штатных методик (МСВ и МВИ).

Реализующиеся при подземных испытаниях условия «хорошей геометрии» позволили начиная с 1961 года широко использовать нейтронные методы определения энерговыделения. Например, метод измерения энерговыделения с помощью нейтронных индикаторов. Он имел широкий диапазон измерений и успешно использовался в течение ряда лет.

Для определения энерговыделения изделий использовался также метод времени пролета нейтронов (МВП), позволяющий измерять спектральное распределение нейтронного излучения. Сначала метод применялся в воздушных опытах, а с 1961 года — в подземных.

Для изучения параметров термоядерных нейтронов изделий широко применялся метод МРТГ (с 1958 г. — в воздушных опытах, а с 1964 г. — в подземных). В дальнейшем методика получила развитие в связи с решением ряда других задач — кинетика, измерения в ближней зоне взрыва, относительно малые выходы. Перечисленные задачи были связаны с углубленным изучением работы изделий.

С целью расширения измерения спектра нейтронов ядерного взрыва были созданы интересные модификации метода времени пролета, позволяющие существенно расширить динамический диапазон по интенсивности излучения, спектральному диапазону и другим параметрам, что дало возможность проводить измерения в ближней зоне ядерного взрыва. Это достигалось с помощью использования различных конверторов — преобразователей нейтронных потоков. Варианты методики получили индексы МВП-К и МВП-КД.

В целях исследования нейтронных полей применялся метод нейтронной радиографии (весьма эффективный, например, для контроля равномерности потока излучения в КВИ). Затем были разработаны метод регистрации задержанных нейтронов, который начиная с 1970 года широко использовался для определения флюенса нейтронов высокой интенсивности, и метод измерения нейтронных потоков по наведенной гамма-активности.

Сотрудники ВНИИТФ Р. М. Комаров и А. М. Лясота в начале 1970-х годов применили датчики, содержащие ДМ, для регистрации интенсивных потоков нейтронов. В секторе 4 развитие такого метода измерений началось в 1971 году. Метод успешно использовался во многих работах.

В 1960-е годы как во ВНИИЭФ, так и во ВНИИТФ был разработан и эффективно использовался метод пространственных гамма-нейтронных изображений МПИ-ГНИ (в американской терминологии — метод камеры-обскуры). Первый опыт с использованием МПИ был проведен в марте 1969 года. Применение метода МПИ-ГНИ позволило получить важную информацию о работе изделий. Разработчики метода В. Л. Гладченко, В. М. Горбачев, В. Н. Королев и Б. А. Никитенко были удостоены в 1983 году Государственной премии.

Для регистрации поглощенной дозы и мощности дозы гамма-излучения во второй половине 1960-х годов начал развиваться метод, использующий детекторы с диэлектрическим рассеивателем. Он стал составной частью методики гамма-дозиметрии. Применение метода оказалось полезным в решении задач по определению полей радиационного нагружения.

Методика рентгеновских измерений начала создаваться в институте в 1969 году по инициативе В. А. Цукермана. Первое испытание состоялось в 1971 году. Были предложены и внедрены в практику испытаний калориметры различных типов. На их основе разработана методика калориметрии рентгеновского излучения.

Большое значение в работах ВНИИЭФ имели подземные облучательные физические опыты. Их целью являлось изучение воздействия различных факторов ядерного взрыва на военные и иные объекты. Эти опыты являются наиболее сложным и потенциально опасным видом испытаний. В зависимости от решаемых задач КВИ, начиная от вакуумных, имели различное конструктивное оформление и разные газовые составы. Работы по созданию вакуумно-газовых систем для физопытов поддерживались научным руководством ВНИИЭФ. Коллективу, возглавляемому В. А. Цукерманом, удалось выполнить технически сложную задачу создания условий для вывода излучений на большие площади облучаемых позиций с минимальными потерями.

Сотрудники отделения 04 интенсивно проводили работы по ряду направлений, связанных с использованием ядерного взрыва для научных исследований. Например:

– измерение сечений деления изотопов трансурановых элементов;

– разработка экспериментальных методов и исследования изэнтропической сжимаемости делящихся материалов;

– измерения яркостной температуры фронта ударной волны в воздухе при скоростях до 150 км/с, не достижимых в опытах с обычными взрывчатыми веществами;

– разработка мощных газовых лазеров с накачкой гамма-излучением ядерного взрыва.

С учетом полученного опыта лазерных разработок в 1996 году были начаты исследования по формированию мощных фемтосекундных лазеров с накачкой активной газовой среды сильноточным пучком релятивистских электронов применительно к созданию лабораторного инструмента с целью изучения в условиях ДВЗЯИ физики высоких плотностей энергии. В настоящее время эти работы проводятся в ИЛФИ при участии сотрудников ИЯРФ.

Фундаментальные исследования проводились при полномасштабных испытаниях в качестве попутных. Это, несомненно, способствовало более эффективному использованию дорогостоящих экспериментов. Затраты на дополнительное обустройство испытаний, которые требовались для таких исследований, составляли, как правило, незначительную величину.

Следует отметить также участие специалистов отделения в решении ряда экологических проблем. Это использование ядерно-взрывных технологий для захоронения и уничтожения высокоактивных продуктов атомной энергетики и уничтожения химического оружия.

Физические измерения всегда являлись неотъемлемой частью испытаний ядерных зарядов. Разработчики новых и усовершенствованных методов, измерительных средств, применяемых в них, чутко реагировали на потребности создателей ядерных зарядов.

При организации исследований развивался комплексный подход к решению задач: от теоретической разработки и постановки соответствующих измерений до разработки методик, изготовления регистрирующих приборов и анализа полученных научных результатов. Все работы выполнялись в контакте с научными организациями Министерства обороны и Министерства среднего машиностроения. Ученые и специалисты организаций атомной отрасли (ВНИИЭФ, ВНИИТФ и др.) играли важную роль в развитии идеологии полигонных исследований, создании экспериментальных методов, детекторов, регистраторов, аппаратурных комплексов. Результаты разработок нашли широкое применение при проведении исследований в фундаментальной и прикладной физике, способствовали укреплению обороноспособности нашей страны.

Большая роль в формировании коллектива физиков – специалистов полигонного направления, а также в разработке и создании новых аппаратурно-методических технологий физических измерений при ядерных испытаниях принадлежит руководителям физического отделения – д-ру физ.-мат. наук В. А. Давиденко, д-ру техн. наук И. И. Глотову, академику РАН А. И. Павловскому и канд. физ.-мат. наук В. С. Босамыкину.

Критмассовые стенды и исследовательские импульсные ядерные реакторы

Постановлением СМ СССР № 117 от 08.02.1948 года сотрудникам КБ-11 предписывалось «Определить величину критической массы заправки тяжелого топлива (плутония-239) и легкого топлива (урана-235), отработать из тяжелого топлива за-

правку для РДС-1 к 01.02.1949 г., из легкого – для РДС-2 к 01.11.1949 г.». С этих строк начинается история критмассовых и модельных экспериментов, разработок и исследований в области импульсных ядерных реакторов (ИЯР), а также их применения.

Для выполнения правительственного задания под руководством Г. Н. Флёрова и при активном участии П. Д. Ширяева была спроектирована и введена в эксплуатацию (1949 г.) установка ФКБН (физический «котел» на быстрых нейтронах). На установке можно было определить, какое количество ДМ необходимо заложить в конструкцию изделия для получения ядерного взрыва. Это количество должно было быть оптимальным: не слишком малым, чтобы обеспечить высокую скорость цепной реакции деления (и соответственно мощность изделия), и не очень большим, чтобы не расходовать зря дорогостоящие материалы и, кроме того, чтобы обеспечить ядерную безопасность при производстве, сборке и обслуживании ядерного заряда.

Задача была решена – первая советская атомная бомба успешно испытана 29 августа 1949 года. По результатам испытания Г. Н. Флёрову, руководившему экспериментальным определением критических масс для заряда РДС, были присвоены звания Героя Социалистического Труда и лауреата Сталинской премии I степени, П. Д. Ширяев был награжден орденом Трудового Красного Знамени и Сталинской премией III степени. С тех пор установка ФКБН постоянно используется в работах ВНИИЭФ и постоянно совершенствуется. Существуют ФКБН-1, МСКС, ФКБН-2 и их модификации. С их помощью исследованы параметры более 1000 различных критборок из всех видов ДМ (урана различной степени обогащения изотопом уран-235, уран-233, плутоний-239, нептуний-237) и конструкционных материалов. В настоящее время установка ФКБН-2М интенсивно используется для проведения различных экспериментов, связанных как с основной тематикой института, так и с работами по развитию ядерной энергетики и уточнению нейтронных констант для различных материалов. В частности, на установке проведены исследования ядерно-физических характеристик модели каскадного бланкета для электроядерной установки с пороговым делящимся веществом – нептунием-237.

При разработке термоядерных изделий важнейшей задачей модельных измерений являлось изучение пространственного и временного распределений ядерных реакций, происходящих в их компонентах под воздействием нейтронов от размножающей сборки (со спектром деления) и импульсного источника нейтронов, использующего D-T и D-D реакции.

Ядерные «котлы» типа ФКБН в большинстве случаев воспроизводили структуру конкретных ядерных зарядов и использовались также в целях уточнения теоретических расчетов и в качестве источников для калибровки полигонной аппаратуры, применяемой при натурных ядерных испытаниях.

Экспериментальные исследования с применением ядерных котлов малой мощности, генерирующих потоки нейтронов с плотностью 10^{9}–10^{12} нейтр./(см^2·с), с начала 1960-х годов сменяются поисками путей для создания мощных лабораторных импульсных источников нейтронов, способных генерировать плотность потоков 10^{15}–10^{20} нейтр./(см^2·с).

Кратковременное воздействие столь интенсивного ядерного излучения на ядерные заряды и средства доставки способно вывести их из строя. Подобная идея первоначально была высказана в 1948 году академиком Н. Н. Семёновым, предложившим для

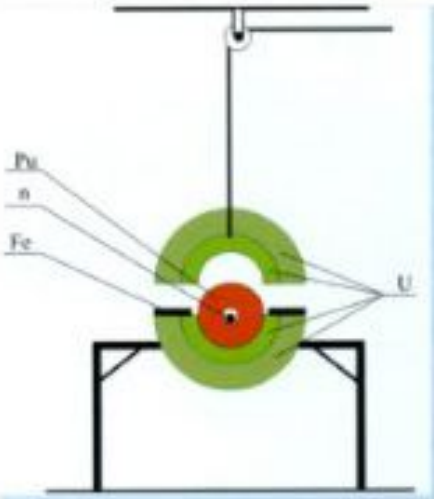
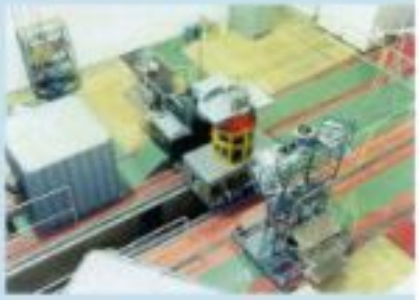


Схема проведения первого критмассового опыта: Pu – плутониевое ядро; U – урановые полусферы; Fe – стальные упоры; n – нейтронный источник

Установка ФКБН-2М

ГИР2

БР-К1



БИР-2М

БИГР

этих целей создать мощный ускоритель протонов с энергией более 100 МэВ. Оказалось, однако, что для этого больше подходят импульсные ядерные реакторы. Парк таких ИЯР был создан в физическом отделении ВНИИЭФ. Эксплуатация импульсных реакторов была начата в 1964 году с момента запуска реактора ВИР-1, использующего в качестве топлива водяной раствор соли высокообогащенного урана. Практически в то же время был введен в эксплуатацию ИЯР с металлической активной зоной (АЗ) – БИР-1. Углубленные исследования действия ядерного излучения в 1970–1980-х годах привели к необходимости создания специальных импульсных реакторов БР-1, ГИР и ГИР2, которые вошли в состав облучательных комплексов, содержащих мощные импульсные ускорители электронов типа ЛИУ.

На стендах и реакторах экспериментально были проверены нормы, правила и технологические устройства, обеспечивающие ядерную безопасность при производстве, хранении, транспортировке и эксплуатации изделий, содержащих оружейные делящиеся материалы.

На протяжении многих лет расчетно-теоретические исследования по импульсным ядерным реакторам проводились теоретическим отделом ИЯРФ под руководством В. Ф. Колесова, проектированием установок занимался конструкторский отдел под руководством В. М. Ферапонтова и И. Л. Сумкина. Огромный вклад в разработку и совершенствование ИЯР внесли В. Ю. Гаврилов, Б. Д. Сциборский, В. А. Давиденко, В. Ф. Колесов, А. А. Малинкин, А. М. Воинов и другие специалисты.

Желание достичь высокой интенсивности энерговыделения в АЗ привело к необходимости решить проблему снижения воздействия теплового удара в топливных элементах ИЯР. Совместными усилиями конструкторов, теоретиков и экспериментаторов были найдены оригинальные эффективные решения. В конструкции реактора БР-1 использовано разбиение АЗ на слои из коаксиальных колец. Это позволило достичь рекордных параметров импульса делений для быстрых ИЯР с металлической АЗ. В реакторе ТИБР тепловой удар был исключен за счет введения в состав металлической АЗ локализованного замедлителя нейтронов – слоя гидрида циркония ($ZrH_{1,9}$). В настоящее время для реактора БР-1 разработана новая, усовершенствованная конструкция АЗ, позволяющая значительно повысить ресурс топливных элементов.

Задача получения интенсивных полей ионизирующего излучения в больших объемах стимулировала применение новых материалов для тепловыделяющих элементов импульсных реакторов. Была разработана технология, и на Новосибирском заводе химических концентратов изготовлено уникальное высокотемпературное керамическое топливо в виде спрессованной однородной смеси диоксида высокообогащенного (90 % по ^{235}U) урана с графитом. Это топливо и оригинальная конструкция АЗ обеспечили создание реактора БИГР – самого мощного в мире импульсного реактора на быстрых нейтронах.

Были разработаны и исследованы и такие экзотические установки, как реактор РИР, импульс которого сопровождается взрывным разрушением активной зоны. Эксперименты с таким реактором позволили оценить последствия возможной аварии на ИЯР.

В настоящее время в ИЯРФ имеются шесть импульсных ядерных реакторов: БИГР, БИР-2М (модернизированный реактор серии БИР), БР-1, БР-К1, ВИР-2М (модернизированный реактор серии ВИР) и ГИР2.

Все они, а также установка ФКБН-2М размещены в специально построенных зданиях с защитными железобетонными стенами и потолком, обеспечивающих безопасность жителей города при любых возможных авариях.

Большой объем исследований, начатый в конце 1960-х годов, проведен с использованием импульсных ядерных реакторов ВИР, БИР, БР-1, ТИБР, БИГР и ГИР2 по проблеме лазеров с прямой ядерной накачкой (ЛЯН) и ядерно-оптических преобразователей (ЯОП). Создано несколько экспериментальных комплексов для проведения исследований по тематике ЛЯН, в частности на базе реакторов ВИР-2М и БИГР .

Комплекс на ВИР-2М предназначен для исследования характеристик лазеров с ядерной накачкой и отработки элементов конструкции ядерно-лазерных устройств. В состав комплекса входят лазерная установка ЛУНА-2М (ЛУНА-2П и ЛЯН-2Т), а также разнообразные методики для изучения спектрально-люминесцентных, лазерных и оптических характеристик различных сред.

К настоящему времени получена и исследована генерация более чем на сорока переходах атомов Xe, Kr, Ar, Ne, C, N, O, Cl, ионов Cd^+, Zn^+ в видимой и ИК областях спектра при возбуждении газовых смесей осколками деления урана, а также продуктами реакций $^3He(n, p)^3H$ и $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ в нейтронных полях ИЯР.

Одним из главных научных достижений, реализованных на ВИР-2М, наряду с получением высоких значений КПД (до 2,5 %) является демонстрация возможности работы ЛЯН при нейтронных потоках, которые достигаются даже на периферии активных зон практически всех энергетических и исследовательских ядерных реакторов непрерывного действия.

Впервые в мире на четырехканальном модуле ЛМ-4, работающем в комплексе с реактором БИГР, была продемонстрирована непрерывная генерация. Энергия лазерного излучения составляла около 100 Дж при длительности работы более 1 с. Полученные результаты позволили выработать концепцию реактора-лазера как автономного ядерно-физического устройства, совмещающего функции лазерной системы и ядерного реактора и осуществляющего прямое преобразование энергии ядерных реакций в лазерное излучение.

Важными являются результаты работ по каскадным реакторам (В. Ф. Колесов, А. А. Малинкин, Н. В. Завьялов, В. Т. Пунин и др.), которые были начаты еще в конце 1970-х годов в целях поиска вариантов импульсных реакторов с возможно более короткими импульсами n-, γ-излучения. Было показано, что этого можно достичь путем использования двухсекционных систем с односторонней нейтронной связью секций, т. е. посредством реакторных систем каскадного типа. Одновременно был найден способ осуществления односторонней связи секций с использованием в качестве активного материала одной из секций нептуния-237 — порогового делящегося материала.

В середине 1990-х годов принцип каскадных систем был распространен на электроядерные установки. Было показано, что использование в электроядерной установке бланкета каскадного типа дает возможность существенного снижения мощности ускорителя протонов. Первые в мире эксперименты в этой области были подготовлены и выполнены во ВНИИЭФ в течение 2000—2004 годов с глубоко подкритичными уран-нептуниевыми моделями каскадного бланкета на компактных моделях из нептуния-237 и урана-235. Они

БР-1

Установка ЛУНА-2М под активной зоной реактора ВИР-2М

Установка ЛМ-4

проводились с применением изотопного источника нейтронов, размещенного в центре моделей, а также с использованием в качестве источника нейтронов ускорителя электронов ЛУ-50. Применялись и модели с первым каскадом нептуния-237 и вторым каскадом в виде гетерогенной композиции из таблеток урана-235 и фторидных солей с использованием изотопного источника нейтронов.

Важно отметить, что экспериментальная реакторная база, созданная для выполнения работ по оружейной тематике, в настоящее время находит применение и для исследований в интересах безопасности ядерной энергетики, конверсии оружейного плутония и трансмутации радиоактивных короткоживущих отходов с помощью электроядерных установок. На базе реактора БИГР создан комплекс для проведения испытаний образцов тепловыделяющих элементов энергетических реакторов в условиях реактивностной аварии (авария типа RIA), проведены эксперименты по получению ультрахолодных нейтронов. На реакторах БИР-2М, БР-1 и ГИР2 созданы эталоны нейтронного поля.

Ускорители электронов и облучательные комплексы

Создание ускорителей электронов определялось необходимостью рентгенографии быстропротекающих процессов в интересах газодинамической отработки ядерных зарядов, моделирования в лабораторных условиях воздействия поражающих факторов ядерного взрыва на изделия военной техники для определения показателей их радиационной стойкости и проведения ядерно-физических исследований.

В настоящее время ИЯРФ обладает крупнейшей в России экспериментальной базой моделирующих установок с широким диапазоном амплитудно-временных и спектрально-энергетических характеристик излучения. В ее состав входят два уникальных облучательных комплекса – ПУЛЬСАР и ЛИУ-10М-ГИР2. Они созданы на основе мощных линейных индукционных ускорителей электронов и импульсных ядерных реакторов и не имеют аналогов у нас в стране и за рубежом.

Импульсные электронные ускорители прямого действия и линейные индукционные ускорители. В 1947 году В. А. Цукерманом с сотрудниками в рамках атомного проекта были начаты импульсные рентгенографические исследования симметрии и степени сжатия металлических образцов при воздействии сходящихся сферических ударных волн. В начале 1960-х годов лучшие образцы ускорителей обеспечивали просвечивание свинцовых деталей толщиной 90–100 мм на расстоянии 1 м от мишени. В последующий период этот показатель был увеличен до 180–200 мм.

Ускоритель МИГ-5000, самый крупный для того времени, с 1968 года стал широко применяться для изучения радиационной стойкости образцов и элементной базы аппаратуры специального назначения. На нем выполнено свыше 200 научно-исследовательских работ по исследованию материалов, элементов и узлов радиоэлектронной аппаратуры.

Для обеспечения использования мощных импульсных ускорителей в начале 1970-х годов был решен комплекс методических и технических вопросов. Совместно с сотрудниками Института биофизики АН СССР специалистами отделения Н. И. Завадой и П. Л. Комаровым был доведен до практического применения метод термолюминесцентной дозиметрии ИКС-А, разработан метод и впервые получены сведения о спектральном составе импульсов тормозного и рентгеновского излучения ускорителя МИГ-5000, определены рентгеноспектральные характеристики установок с плазменным фокусом.

Совершенствования ядерных зарядов и средств их доставки в значительной мере предопределили тенденции в развитии генераторов мощных импульсов тормозного излучения. Было разработано несколько ускорителей такого типа: ОРИОН-1 (самый мощный ускоритель прямого действия во ВНИИЭФ), РИУС-5, РИУС-3В, ИЛТИ.

Ускоритель ОРИОН-1 при амплитуде напряжения 2,5 МВ на вакуумном диоде и токе разряда 200 кА обеспечивал на расстоянии 1 м от мишени дозу тормозного излучения 270 Р. Ускоритель РИУС-5 с резонансным трансформатором Тесла и газовым диэлектриком был разработан совместно с Институтом ядерной физики СО АН СССР. Это экранированный вариант сильноточного ускорителя прямого действия. Разнообразие режимов работы ускорителя предопределило его широкое использование в физических экспериментах. Доминирующее место здесь занимают радиационные исследования. На электронных пучках ускорителя РИУС-5 выполнен цикл исследований по изучению кинетики динамического разрушения материалов и возбуждению газовых лазерных смесей.

В 1969 году был построен первый отечественный ускоритель прямого действия РИУС-3В с водяной формирующей линией, идею создания которого предложили В. А. Цукерман и О. П. Печерский. Примерно в это же время аналогичный ускоритель ГЭМБЛ был построен в США. На ускорителе РИУС-3В получены импульсы тормозного излучения длительностью 1,5 мкс. На

нем выполнялись эксперименты по возбуждению полупроводниковых лазерных кристаллов рентгеновским излучением.

В 1975 году был предложен и разработан первый ускоритель прямого действия ГОНГ-1 с двойной формирующей линией, заполненной глицерином. Авторы разработки: В. А. Цукерман, К. Ф. Зеленский и И. А. Трошкин. Эта установка, как и последующая ее модификация, устойчиво работала в режиме с максимальным предымпульсным разрядом диода. Такой результат был получен впервые. На ГОНГ-1 была также проверена идея создания диода с выводом излучения из тыльного полупространства мишени и подтверждена ее высокая эффективность. С учетом этих результатов было обосновано создание малогабаритного транспортабельного варианта мощного ускорителя ИЛТИ-1, который в двух экземплярах был изготовлен и налажен в конце 1990-х годов. Ускоритель нашел применение в радиационных исследованиях и перспективен для рентгенографирования быстропротекающих процессов.

В 1960-х годах были заложены основы создания малогабаритных источников импульсного рентгеновского излучения. Для получения высокого напряжения было разработано несколько типов импульсных малогабаритных трансформаторов. В период 1967–1987 годов разработаны и переданы в промышленное производство пять модификаций аппарата серии МИРА, три модификации аппарата ЭРИДАН, аппараты КВАНТ, ДИНА, АРГУМЕНТ, БЕТА, КАВКАЗ. Разработанные устройства отличались высокими характеристиками и нашли широкое применение в рентгенодефектоскопии, рентгенографировании во взрывных опытах, в медицине и других областях.

За создание ускорителей с водяным диэлектриком лауреатами Государственной премии СССР стали К. Ф. Зеленский, В. А. Балакин, О. П. Печерский. За разработку серии малогабаритных и переносных аппаратов рентгеновского излучения звания лауреатов Государственной премии были удостоены Н. В. Белкин и В. А. Цукерман, лауреатами премии Ленинского комсомола стали Э. А. Авилов, Н. В. Белкин, В. В. Боголюбов.

В 1970–1980-е годы были созданы и исследованы компактные ускорители с наносекундной длительностью импульса тормозного излучения, ориентированные на радиационные исследования и другие физические эксперименты в лабораторных условиях. Так, ускоритель МИН-1 (модификация МИН-1,5) может обеспечивать работу в двух режимах: электронное излучение с мощностью дозы до ~ 10^{13} рад/с и рентгеновское излучение с мощностью дозы до ~ 10^{11} Р/с. Для расширения круга

Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-10

Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-30

Линейный индукционный ускоритель ЛИУ-10М

Импульсный ускоритель электронов СТРАУС-Р

практических применений таких ускорителей была разработана серия ускорителей АРСА на каскадных и трансформаторных схемах с напряжением от 150 до 1300 кВ. Эти ускорители успешно применяются для исследования радиационной стойкости некоторых устройств, с их использованием рассмотрена возможность стерилизации изделий медицинского назначения, облучения донорской крови с целью подавления реакции отторжения при пересадке костного мозга. Ряд малогабаритных аппаратов и компактных наносекундных ускорителей был удостоен золотых и серебряных медалей и дипломов на международных выставках в Лейпциге, Брюсселе, а также медалей ВДНХ.

В 1960-х годах стала ясна необходимость более полного моделирования в лабораторных условиях воздействия поражающих факторов ядерного оружия на узлы и крупногабаритную радиоэлектронную аппаратуру, объекты вооружений и военную технику. Для моделирования воздействия гамма-излучения ядерного взрыва необходимо было иметь пучок электронов, ускоренный до нескольких десятков мегаэлектрон-вольт с током в десятки килоампер и более с длительностью тормозного излучения 10–20 нс. Такие параметры позволяли исследовать поведение испытываемых объектов при воздействии на них проникающего излучения. Под руководством А. И. Павловского А. И. Герасимов и В. С. Босамыкин провели анализ возможностей развития ускорителей прямого действия, которые интенсивно разрабатывались в то время в США для указанных целей. Результат анализа свидетельствовал о принципиальных ограничениях энергии ускорения значениями в 10–12 МэВ по техническим возможностям. Поэтому во ВНИИЭФ был начат поиск новых научно-технических решений, которые позволили бы сократить разрыв с США в создании мощных ускорителей заряженных частиц и даже обойти их. Были предложены ЛИУ без ферромагнитных сердечников – так называемые безжелезные ЛИУ.

Исследования были начаты в 1964 году под руководством А. И. Павловского. Ключевым моментом явилось предложение по созданию безжелезного импульсного сильноточного линейного индукционного ускорителя (ЛИУ) с некоторыми новшествами, получившими название «совмещенных индукторов».

В 1967 году впервые в мире был введен в действие ускоритель ЛИУ-2 с индукторами на основе тороидальных колебательных контуров, созданный под научным руководством А. И. Павловского. Новый ускоритель сразу же показал стабильную и устойчивую работу, которая подтвердила правильность теоретических предпосылок, схемных и технических решений, положенных в основу проекта. На ЛИУ-2 выполнен широкий комплекс экспериментальных исследований по возможностям таких установок.

Очередным этапом развития ЛИУ явилось предложение А. И. Павловского и В. С. Босамыкина о применении в индукторах радиальных линий. Это позволило в 1971 году А. И. Павловскому, Г. Д. Кулешову и А. И. Герасимову обосновать разработку нового мощного ускорителя ЛИУ-30 и на его основе – создание облучательного комплекса ПУЛЬСАР, в состав которого вошли быстрый импульсный реактор БР-1 и ударный стенд. В 1974 году коллектив лаборатории во главе с Г. Д. Кулешовым получил основные результаты, подтверждающие практическую возможность создания установки с требуемыми параметрами. Оценки показали, что на изготовление крупнога-

баритных деталей, монтаж и наладку ускорителя уйдет не менее 10 лет с учетом проектирования и строительства специальных зданий.

Одновременно с продолжением работ по ЛИУ-30 было принято решение о создании меньшего образца такого ускорителя — ЛИУ-10 с диаметром индукторов около 1 м. В конце 1977 года ЛИУ-10 был сдан в опытную эксплуатацию, достаточно быстро на нем были получены расчетные параметры тормозного излучения. Ускоритель стал работать в качестве облучательной установки, моделирующей воздействие короткоимпульсного гамма-излучения. Характеристики установки ЛИУ-10 превосходили характеристики зарубежных установок такого назначения.

В 1984 году установка ЛИУ-10 была оснащена импульсным ядерным реактором апериодического действия ГИР. Первый облучательный комплекс ЛИУ-10-ГИР, гамма-нейтронное излучение которого обогащалось гамма-излучением, полученным с помощью конвертора, обеспечивал моделирование комплексного воздействия поражающих факторов. Эксперименты на комплексе ЛИУ-10-ГИР при синхронизированном временном интервале между пусками ускорителя ЛИУ-10 и реактора ГИР показали возможность моделирования воздействия на объекты короткоимпульсного гамма-излучения и длинноимпульсного гамма-нейтронного излучения.

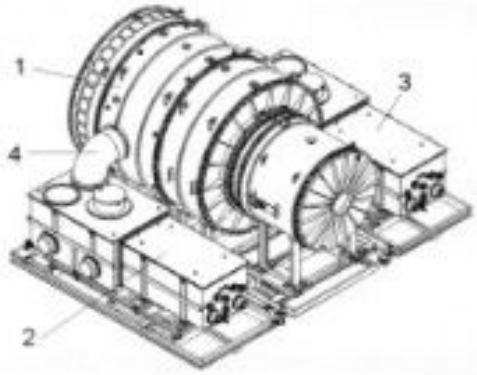
Работы по созданию мощных линейных ускорителей нового типа были высоко оценены. В 1982 году лауреатами Ленинской премии в области науки и техники стали В. Ф. Басманов, В. С. Босамыкин, А. И. Герасимов, А. П. Клементьев, К. А. Морунов и В. А. Санченко.

В 1988 году ЛИУ-30 вошел в строй. На нем были достигнуты рекордные для установок такого типа параметры и сразу же начались исследования и отработка радиационной стойкости компонентов крупногабаритной военной техники.

Одновременно с работами на ЛИУ-30 проводились монтаж и наладка систем ядерного импульсного реактора с компактной металлической активной зоной БР-1. На комплексе ЛИУ-30-БР-1 было достигнуто устойчивое функционирование двух сложных физических установок как в режиме совместного синхронного срабатывания, так и при работе БР как бустера — размножителя нейтронов. Это значительно расширило возможности ВНИИЭФ по проведению испытаний объектов при воздействии коротко- и длинноимпульсных гамма- и нейтронного излучений.

В период 1996—2002 годов этот комплекс последовательно был оснащен импульсным ускорителем электронов СТРАУС-2, двумя генераторами

Ускоритель ЛИУ-Р (первая очередь)



Общая компоновка модуля установки ГАММА без передающей линии:
1 — ДСФЛ; 2, 3 — генераторы ГИН-1000;
4 — высоковольтный ввод

мощных импульсов рентгеновского излучения ИЛТИ-1 и малогабаритным ускорителем электронов АРСА. Это открыло дополнительные возможности испытаний различной аппаратуры.

После того как Россия в 1996 году подписала Договор о запрещении ядерных испытаний во всех средах, проблема создания более совершенных и эффективных моделирующих установок стала особенно актуальной. Поэтому было решено разработать взамен ЛИУ-10 новый ускоритель. Ускоритель ЛИУ-10М был введен в действие в 1994 году. В настоящее время он является наиболее мощным среди установок, при создании которых использован принцип ступенчатых формирующих линий (СФЛ, предложение В. С. Горяеева, 1979 г.). В состав ЛИУ-10М был введен новый импульсный ядерный реактор ГИР-2 и таким образом создан модернизиро-

Ускоритель ЛУ-50

Ускоритель ЛУ-10-20

ванный облучательный комплекс ЛИУ-10М-ГИР2, в который также вошли ускоритель СТРАУС-2 и малогабаритный ускоритель электронов АРСА.

После запрещения подземных ядерных испытаний и сокращения ядерного потенциала России стала актуальной проблема создания мощных импульсных установок для рентгенографических комплексов. Такие комплексы являются необходимыми при исследовании быстропротекающих процессов при взрыве объектов с большими массовыми толщинами. Поэтому семейство установок ВНИИЭФ пополнилось в 2004 году импульсным рентгенографическим электронным ускорителем СТРАУС-Р, предназначенным для генерации однократных импульсов тормозного излучения. Ускоритель введен в эксплуатацию на полигонной площадке ВНИИЭФ и используется во взрывных экспериментах.

В ИЯРФ ведутся также работы по созданию более мощного рентгенографического ускорителя электронов ЛИУ-Р с индукторами на основе СФЛ и энергией ускорения до 30 МэВ. Разрабатывается мультитераваттная многомодульная установка ГАММА.

Линейные ускорители электронов. В 1950-е годы одним из перспективных источников нейтронов для получения ядерно-физических констант являлись мишени высокочастотных линейных ускорителей электронов (ЛУ), в которых нейтроны возникали за счет фотоядерных реакций. Импульсный режим работы ЛУ обеспечивал возможность применения в нейтронных исследованиях метода времени пролета на сплошном спектре фотонейтронов. Поэтому по инициативе Ю. С. Замятнина в Московском радиотехническом институте для ВНИИЭФ был разработан линейный ускоритель МВ-15, который был введен в эксплуатацию в конце 1950-х годов. На этом ускорителе в 1960–1970-е годы был выполнен целый ряд оригинальных исследований. Результаты этих исследований позволили обосновать необходимость создания во ВНИИЭФ нового сильноточного линейного ускорителя электронов ЛУ-50 для научных и прикладных исследований. Эти предложения были поддержаны научным руководством института (Ю. Б. Харитон, А. И. Павловский), а затем и руководством министерства. Огромный вклад в окончательное решение вопроса о создании в институте такого ускорителя внес Л. Д. Рябев.

Разработка ЛУ-50, в которой участвовали ряд исследовательских институтов и конструкторских бюро СССР, была выполнена в Московском радиотехническом институте в 1972 году. Отметим, что в то время линейные ускорители электронов в основном использовались для исследований в резонанс-

ной области энергий нейтронов. В 1981 году состоялся физический пуск ускорителя. Достигнутые параметры пучка ускоренных электронов обеспечили его среднюю мощность 12 кВт, что не уступает аналогичным показателям лучших ускорителей такого класса. На ЛУ-50 ведутся работы по созданию безопасного двухкаскадного энергетического бланкета, работающего в подкритическом режиме, с использованием мишени ЛУ-50 в качестве источника первичных нейтронов.

Ускоритель ЛУ-7-2

Накопленный в течение многих лет опыт эксплуатации и создания ускорителей МВ-15 и ЛУ-50 позволил в середине 1990-х годов перейти к разработке во ВНИИЭФ (в рамках конверсионной тематики) ускорителей промышленного назначения (энергия электронов менее 10 МэВ) для радиационных технологий.

В 1994 году был разработан и запущен линейный резонансный ускоритель ЛУ-10-20. Работа проходила совместно с МИФИ под руководством Н. В. Завьялова. Ускоритель показал высокую надежность в эксплуатации, он широко используется при изучении радиационной стойкости приборов и материалов к воздействию мощных пучков электронного и тормозного излучения на конструкционные материалы, а также для разработки радиационных технологий. На нем ведутся исследования по радиационной модификации полимеров, моделированию радиационного старения материалов, радиационно-термическому крекингу. Эти направления, а также изучение свойств радиационно-модифицированных материалов имеют важнейшее значение не только для ВНИИЭФ, но и для развития радиационных технологий в стране.

Созданные за время разработки ускорителя ЛУ-10-20 методики дали возможность самостоятельно проектировать и изготавливать резонансные ускорители электронов с учетом специфики решаемых задач. В 2004 году были завершены разработка и изготовление транспортабельного линейного резонансного ускорителя ЛУ-7-2. Он скомпонован в отдельные модули и может использоваться в промышленных радиационных технологиях и для дефектоскопии объектов с большими массовыми толщинами. ЛУ-7-2 отличается от предыдущих разработок своей компактностью и простотой управления, что очень существенно для оперативной работы в полевых условиях. Модифицированный вариант такого ускорителя может быть применен и для небольших производств, использующих ионизирующее излучение. Предполагается оснастить таким ускорителем комплекс ПУЛЬСАР. Модификация ЛУ-7-2 была разработана для стерилизации биоматериалов во Всероссийском центре глазной и пластической хирургии (г. Уфа), руководимом известным офтальмологом Э. Р. Мулдашевым. Этот ускоритель с помощью сотрудников ИЯРФ был там смонтирован, налажен и введен в эксплуатацию в 2005 году.

Таким образом, в настоящее время ВНИИЭФ обладает наиболее развитой в России экспериментальной базой моделирующих установок с широким диапазоном амплитудно-временных и спектрально-энергетических характеристик излучения. В ее состав входят два уникальных комплекса ПУЛЬСАР и ЛИУ-10М-ГИР2. В соответствии с требованиями потребителей на этих комплексах постоянно ведутся работы по освоению новых режимов функционирования установок. В частности, в 2004 году на ускорителе ЛИУ-30 отработан режим функционирования с фокусировкой (компрессией) сильноточного электронного пучка на выходе установки в нарастающем магнитном поле. Максимальные доза и мощность дозы тормозного излучения вблизи мишени фокусирующей системы примерно в четыре раза превышают достигнутые ранее максимальные уровни. Аналогичные работы в интересах облучения малоразмерных объектов проведены и на ускорителе ЛИУ-10М. За счет оптимизации параметров выводного устройства и увеличения индукции магнитного поля в выводном устройстве максимальная доза и мощность дозы

тормозного излучения вблизи мишени превышают достигнутые ранее максимальные уровни примерно в три раза.

Электростатические ускорители. По специальному заданию СМ СССР в УФТИ (г. Харьков) для КБ-11 были спроектированы и изготовлены два электростатических генератора (на 1 и 4 МэВ). Первый из них был получен в 1952 году с множеством недоделок, он имел недостаточно высокие параметры. Началась напряженная работа коллектива по «доводке» ускорителя. Многие узлы переделывались, был установлен новый высокочастотный источник ионов, заменена ускорительная трубка, изготовлены новые анализирующий магнит и мишенные устройства. В результате этой модернизации уже в 1954 году на ускорителе было получено устойчивое напряжение 1,5 МэВ и увеличен ток пучка до ~ 20 мкА. Сразу же начались ядерно-физические эксперименты. Работами по созданию ускорителей руководил А. В. Алмазов, физическими экспериментами – В. И. Серов.

К этому времени институт получил второй электростатический ускоритель на 4 МэВ. В результате большой работы по улучшению его параметров, изготовлению новых ускорительных трубок и ионного источника, модернизации системы стабилизации энергии на новой установке было получено устойчивое напряжение 5,5 МВ, а на малом электростатическом генераторе достигнут потенциал на кондукторе ~ 2 МВ. С запуском нового ускорителя можно было получать нейтроны в области энергии более 15 МэВ и в диапазоне 0,3–7,5 МэВ.

Вскоре после опубликования работы Альвареца с его идеей о возможности создания перезарядных ускорителей на основе источников отрицательных ионов водорода и других элементов начались работы по проектированию перезарядного электростатического генератора на 10 МэВ. Был изготовлен источник отрицательных ионов водорода на основе перезарядки на сверхзвуковой струе ртутного пара и впервые создана простейшая модель перезарядного ускорителя на ~ 300 кэВ (1956 г.).

Создание современного электростатического ускорителя с перезарядкой ЭГП-10 на энергию ионов водорода 12,5–14,0 МэВ – важный шаг в развитии экспериментальной базы ВНИИЭФ. Оно началось с изготовления модели ускорителя на 2 МВ и полномасштабной отработки на ней отдельных узлов установки, изготовление деталей для которой производилось на одном из заводов в Ленинграде. Сборку ускорителя и вывод на проектные параметры осуществили специалисты сектора 4, после чего были достигнуты значения энергии ионов водорода до 10 МэВ. Изготовление новых ускорительных трубок с переменно-наклонным полем для подавления паразитных электронных токов и использование 8–30 % элегаза в изолирующей газовой смеси обеспечило получение на ускорителе энергии ионов водорода до 14 МэВ и тока ионов 2 мкА.

Автоматизация регулирования энергии с использованием ЭВМ на ЭГП-10 позволила получить лучший в России ускоритель такого типа с градиентами поля, соответствующими современным тандемным ускорителям.

Бетатроны. Описанные выше генераторы тормозного излучения на базе ускорителей прямого действия, применявшиеся для рентгенографии при проведении газодинамических взрывных опытов, не обеспечивали просвечивание объектов с характерной оптической толщиной. Поэтому в 1955 году А. И. Павловский предложил разработать для этих целей компактный безжелезный бетатрон с энергией ускорения электронов до 100 МэВ. Для этого необходимо было создать совершенно новое электрофизическое устройство, которое работало бы по принципу бетатрона, но ускоряло в сотни раз больше электронов, чем обычный бетатрон. Такое решение требовало незаурядной смелости и убежденности в предстоящем успехе, так как создавался принципиально новый тип индукционного ускорителя. Сотрудникам физического сектора предстояло разработать не одно, а несколько устройств. Среди них можно упомянуть собственно ускоритель с электромагнитом, ускорительной камерой, инжектором и мишенью, в которой энергия электронов трансформируется в тормозное излучение; системы импульсного питания узлов ускорителя; стенды и измерительную аппаратуру для экспериментальной отработки и оптимизации устройств; пульты управления, коммутационную технику и в первую очередь безжелезный электромагнит, формирующий в пространстве требуемую конфигурацию магнитного поля.

Началась интенсивная работа группы энтузиастов под руководством А. И. Павловского. При активной поддержке начальника лаборатории Ю. А. Зысина они создали действующие экспериментальные образцы бетатронов, получившие название БИМ – бетатрон импульсный малогабаритный. На новых установках отрабатывались вопросы импульсной радиографии. БИМ – это простое, компактное и удобное в эксплуатации устройство, ускоряющее электроны до энергии в десятки МэВ. При этом энергия электрона эффективно конвертируется в энергию направленного тормозного излучения, спектральный состав которого благоприятен для просвечивания плотных материалов, а доза излучения не зависит от длительности импульса.

Малые размеры бетатрона позволили размещать его в небольших защитных сооружениях. В 1959 году в практику газодинамических исследований была внедрена первая установка с бетатроном БИМ-3, а в последующие годы – все более мощные: БИМ-117Г, БИМ-234Г и двухкадровая 2БИМ-117Г, реализующая стереосъемку объекта с двух сторон под углом 28°. Самая мощная в этой серии – установка БИМ-234-2000. Ее характеристики превосходили параметры используемого в те годы для аналогичных целей в США ускорителя PHFERMEX.

Актуальность и ценность выполненных работ были отмечены в 1963 году присуждением Ю. А. Зысину, Г. Д. Кулешову, А. И. Павловскому, Г. В. Склизкову и Д. М. Тарасову Ленинской премии в области науки и техники.

Взрывомагнитные импульсные нейтронные источники со сферическими плазменными камерами (ВМИНИ)

Физические установки с плазменным фокусом

В 1955 году в Институте атомной энергии было открыто новое физическое явление – нецилиндрический Z-пинч. Авторы открытия, Н. В. и Т. И. Филипповы, назвали его «плазменным фокусом». Со временем новое явление получило признание мирового научного сообщества. В 1960-х годах в секторе 4 под руководством В. А. Цукермана и А. И. Павловского сформировались две исследовательские группы по изучению физики и техники сильноточных разрядов в газах типа плазменный фокус (ПФ). Группы занимались исследованиями по разным направлениям: изучением ПФ при энергиях, вводимых в разряд, от 100 до 1000000 Дж, разработкой новых газоразрядных камер с ПФ, исследованием механизмов генерации нейтронного и тормозного излучения, поиском закономерностей увеличения параметров плазмы и излучения.

В 1964 году по предложению Н. Г. Макеева была начата разработка камер нового типа – сферических камер с ПФ (СФК). Разработанные камеры принципиально отличаются от общеизвестных камер Филипповых и Дж. Мейзера (США) и обладают рядом ценных преимуществ.

Отпаянные сферические камеры (СФК-5 и СФК-16)

В 1966 году специалисты физического и газодинамического секторов КБ-11 провели первый в мире успешный эксперимент по запитке камер с плазменным фокусом типа СФК от индуктивного накопителя энергии. Это позволило открыть новое направление разработок и исследований по созданию взрывомагнитных импульсных нейтронных источников (ВМИНИ) для различных практических применений по основной тематике ВНИИЭФ.

Широкому практическому применению ВМИНИ способствовало также другое важное техническое достижение – разработка и создание в 1971 году в секторе 4 первых отпаянных камер СФК-5 многократного действия со сроком службы более 14 лет. В последующие годы совместно со специалистами НИИ вакуумной техники им. С. А. Векшинского были разработаны и запущены в серийное производство усовершенствованные отпаянные камеры (СФК и ПНК), имеющие стабильные выходные характеристики и небольшие вес и размеры.

Установка РИФ-1

В 1979 году в отделении была разработана и создана уникальная физическая установка РИФ-1 на базе урановой размножающей сборки и плазменной нейтронной камеры ПНК 23.3. Установка представляет собой бустерную подкритическую систему с регулиру-

емым нейтронным спектром, в которой в качестве первичного нейтронного источника используется отпаянная камера с ПФ.

За работы по созданию мощных генераторов и импульсных источников быстрых нейтронов ($\leq 4 \cdot 10^{12}$ нейтр./имп.), тормозного излучения ($\leq 5 \cdot 10^{3}$ Дж) и высокоскоростных плазменных струй ($\leq 5 \cdot 10^{4}$ см/с) на основе камер СФК и ПНК, а также за их специальное практическое применение Н. Г. Макеев и Г. Н. Черемухин в 1980 году были удостоены Государственной премии.

Работы, связанные с разработкой, исследованием и применением устройств с плазменным фокусом, и сегодня продолжаются в ИЯРФ. Они представляют большой научный и практический интерес. С одной стороны, они направлены на решение ряда фундаментальных физических задач. Среди них большой интерес представляет определение закономерностей увеличения выхода нейтронов и тормозного излучения при токе разрядов 10—100 МА, а также выяснение возможностей и условий реализации термоядерной вспышки в плазменном фокусе. Кроме того, с помощью этих устройств можно проверить эффект радиационного коллапса плазмы в фокусе, выполнить моделирование астрофизических явлений по самообращению магнитного поля при схлопывании на оси камеры плазменной оболочки с током. С другой стороны, эти установки открывают перспективу создания и применения интенсивных источников нейтронного и рентгеновского излучения для физических исследований, промышленных технологий, прикладных методик и решения специальных задач по основной тематике ВНИИЭФ.

Магнитокумулятивные генераторы

В 1951 году А. Д. Сахаров выдвинул идею магнитной кумуляции как один из возможных путей осуществления импульсной управляемой термоядерной реакции. Им же были предложены два типа магнитокумулятивных генераторов: МК-1, источник сверхсильных магнитных полей, и МК-2, генератор энергии. В первом из них взрыв ВВ сжимает полый металлический цилиндр с магнитным полем внутри, при этом химическая энергия ВВ преобразуется в энергию магнитного поля. Во втором при быстрой деформации токового контура продуктами взрыва магнитный поток сжимается и вытесняется в нагрузку. Первый успешный эксперимент с генератором МК-1, когда было зарегистрировано усиление поля в 25 раз, т. е. до 1 миллиона гаусс, был осуществлен в 1952 году.

Интенсивная работа по этому направлению позволила в 1956 году выявить значительные трудности прямого использования МК-генераторов для создания ядерного оружия. Поэтому дальнейшие исследования были признаны неперспективными. И только благодаря высокому авторитету А. Д. Сахарова работы по магнитной кумуляции продолжились «факультативно». Данная тематика была передана в сектор 4, в лабораторию Ю. А. Зысина. Здесь к этим работам активно подключился А. И. Павловский. Примерно за 20 лет удалось экспериментально подтвердить возможности метода магнитной кумуляции, изучить различные способы повышения величины устойчиво генерируемых магнитных полей, создать разнообразные конструкции генераторов. В 1964 году в одном из опытов было зарегистрировано рекордное значение магнитного поля — 25 МГс в области диаметром 4 мм. Этот рекорд продержался до 1998 года, когда во взрывном эксперименте на полигоне НТЦФ ВНИИЭФ было получено магнитное поле 28 МГс. За достигнутые успехи в развитии метода магнитной кумуляции и разработку генераторов МК-2 с большим диапазоном выходных параметров и применений группа ученых, в их числе сотрудники отделения 04 Р. З. Людаев, Ю. И. Плющев, Е. Н. Смирнов, в 1972 году была удостоена Ленинской премии.

После короткого периода удач ученые большинства лабораторий мира столкнулись с необъяснимыми трудностями в получении полей более 3 МГс. По этой, а также ряду других причин работы по генерации сверхсильных магнитных полей взрывным способом практически везде прекратились. Во ВНИИЭФ под руководством и при самом непосредственном участии А. И. Павловского появился ряд новых технических решений, развивающих и дополняющих идею магнитной кумуляции.

Во-первых, было предложено изготавливать оболочки генератора МК-1 из новых композитных материалов, в том числе из плотноупакованных изолированных медных проволочек, склеенных эпоксидным компаундом.

Во-вторых, использовался такой композитный материал, во внутреннем слое которого проволочки образуют многозаходный (~ 500 проволочек-заходов) многослойный (7—13 слоев намотки) соленоид. Это позволило с высокой степенью надежности получать большие магнитные потоки и использовать соленоид в качестве оболочки, сжимающей этот магнитный поток: после прохождения ударной волны от сдетонировавшего заряда ВВ проволочки замыкаются и образуется сплошной проводящий цилиндр, захватывающий и сжимающий магнитный поток.

В-третьих, благодаря тому, что большой начальный магнитный поток в проволочном соленоиде позволил получать мегаэрстедные поля в больших объемах, было экспериментально доказано, что основным ограничением магнитного поля являются неустойчивости границы вещество – поле. Это впервые было наглядно показано рентгенографированием продольного сечения генератора МК-1, выполненного с помощью излучения безжелезного бетатрона, который располагался на экспериментальной площадке.

И наконец, был предложен каскадный принцип усиления магнитного поля, что позволило преодолеть развитие неустойчивостей и добиться воспроизводимой генерации многомегаэрстедных полей. В результате многолетней работы был создан каскадный генератор МК-1 магнитных полей 10-мегаэрстедного диапазона – достаточно простое устройство, приспособленное для взрывных экспериментов. Генератор серийно изготавливается на специально созданном участке экспериментального производства ИЯРФ. К настоящему времени выпущено несколько сотен таких генераторов.

Относительно большие объемы, в которых получаются сверхсильные поля, допускают проведение исследований нескольких образцов одновременно и при криогенных температурах, а цилиндрическая геометрия и «прозрачность» магнитного поля позволяют изучать свойства вещества в экстремальных условиях с применением различных методик, включая оптические. Разработанный генератор применяется в различных исследованиях, в том числе в международных сериях экспериментов «Дирак» в США и «Капица» в НТЦФ ВНИИЭФ.

Для перспективного применения каскадного генератора МК-1 разработан метод изэнтропического сжатия веществ давлением сверхсильного магнитного поля. Устройство сжатия состоит из двухкаскадного генератора МК-1 и металлической трубки на оси с исследуемым веществом внутри. Стенка трубки экранирует внутренний объем от магнитного поля генератора, в результате чего на вещество внутри действует давление мегагауссного магнитного поля, достигающее 5–10 Мбар. Этот метод успешно применяется для изучения свойств различных веществ, в том числе замороженных благородных газов и изотопов водорода, изэнтропически сжатых давлением в несколько мегабар.

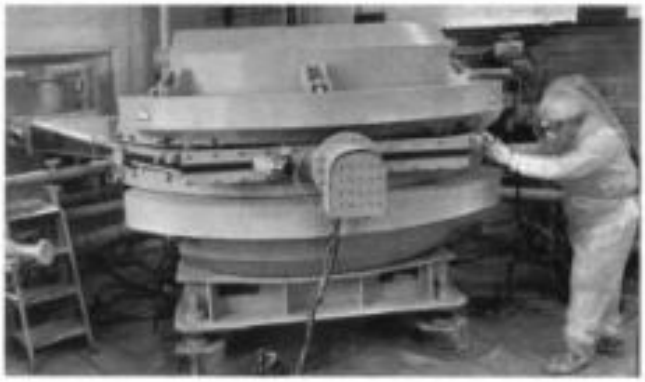
После организации в 1995 году Научно-технического центра (ныне Научно-технический центр физики), возглавляемого В. Д. Селемиром, работы по магнитной кумуляции успешно продолжаются в этом центре.

Стенд для электровзрывного ударного нагружения

Мощный источник оптического излучения и ударный стенд

В 1967–1972 годах по инициативе А. И. Павловского сотрудник сектора 4 В. А. Савченко совместно с сотрудниками одной из лабораторий ГОИ (Ленинград) провел исследования импульсного Н-прижатого разряда. Их целью являлась разработка новых сверхъярких источников оптического излучения большой площади и длительностью от нескольких десятков до нескольких сотен микросекунд. Идея создания Н-прижатого разряда была сформулирована И. В. Подмошенским (ГОИ) и В. А. Савченко. В результате проведенной работы удалось добиться таких характеристик плазмы, при которых в максимуме тока электрическая мощность равнялась мощности оптического излучения, близкого к излучению абсолютно черного тела с температурой 20000 К.

В этом эксперименте мощность, излучаемая с одного квадратного сантиметра, достигала мегаваттного уровня, а яркость превышала яркость Солнца примерно в 100 раз. С помощью этого источника удалось смоделировать прохождение в реальной атмосфере оптического излучения огненного шара ядерного взрыва. Результаты описанных разработок легли в основу метода засечки несанкционированных ядерных взрывов по их оптическому излучению. Этот метод указан в решении Женевской комиссии, как метод, обеспечивающий выполнение Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.



Электромагнитный масс-сепаратор С-2

Для имитации кратковременных ударных нагружений материалов и аппаратуры, возникающих в веществе при поглощении интенсивных импульсов проникающих излучений, создан стенд, в котором ударные волны генерируются электрическим взрывом фольг площадью до 400 см^2. На стенде выполнен большой комплекс исследований по изучению воздействий ударных нагрузок на различные объекты. Достигнуты скорости движения массивных тел до 160 м/с и удельные импульсы – до 8,3 кг/(с·см).

Исследования в области радиохимии и аналитической химии

В физическом отделении 04 ВНИИЭФ традиционно создавались и развивались методы радиохимической диагностики процессов, протекающих при взрыве различных конструкций ядерных зарядов. Эти методы обеспечивают получение наиболее прямой информации о протекающих ядерных реакциях в процессе взрыва. Именно поэтому они сыграли существенную роль в создании и совершенствовании ядерно-оружейного комплекса. Реализация радиохимической диагностики требует отбора проб радиоактивных продуктов взрыва и выполнения измерений относительных количеств оставшегося ядерного горючего и возникших в процессе взрыва радиоизотопов – продуктов деления и продуктов активации конструкционных материалов заряда. Совокупность этих данных позволяет получать прямую информацию о количестве разделившегося ядерного материала и возникших продуктов деления, что однозначно характеризует энерговыделение заряда за счет деления урана и плутония. Относительный выход радиоизотопов в результате реакций на конструкционных материалах или специально закладываемых индикаторах дает надежную информацию о роли тех или иных конструкционных изменений или эффективности новых принципов, использованных при конструировании новых современных зарядов.

Становление радиохимических методов потребовало проведения серьезных фундаментальных исследований с целью определения выхода наиболее удобных для измерений продуктов деления и характера их поведения в продуктах взрыва ядерных зарядов. Кроме того, было выполнено изучение сечений ядерных реакций для основных конструкционных элементов, используемых в зарядостроении. Большое значение имело опубликование этих данных в отечественной и зарубежной научной литературе .

В период ядерных испытаний в атмосфере (с момента первого атомного взрыва заряда в 1949 г. и до их прекращения) и во время перехода к проведению подземных ядерных взрывов на основании данных радиохимических исследований были подтверждены многие новые принципы, заложенные в основы конструирования современных высокоэффективных зарядов. В эти же годы на основании радиохимического анализа была получена для нашей оборонной промышленности ценная информация об особенностях зарядов и устройств, испытанных США, Великобританией, Францией и Китаем.

Учитывая большое значение работ в области радиохимии, в 1963 году благодаря усилиям академика Ю. Б. Харитона и Л. Д. Рябева был введен в строй комплекс зданий радиохимического отдела, что обеспечило возможность безопасной обработки и измерений радиоактивных проб, отбираемых при проведении ядерных испытаний, и надежную защиту окружающей среды при работе с радиоактивными материалами.

С переходом к подземным ядерным испытаниям возросла значимость радиохимических методов диагностики, поскольку с помощью радиохимии при необходимости можно было получать информацию о параметрах взрыва спустя значительное время после проведения испытаний.

Естественные трудности при отборе проб радиоактивных продуктов взрывов, проводимых в тяжелых породах на значительных глубинах, потребовали разработки новых методов отбора проб и методик измерений основных параметров взрыва. Эти методики были ориентированы на использование газообразных продуктов взрыва для измерения характеристик испытанных зарядов.

Решающую роль радиохимические методы сыграли при определении характеристик «чистых» зарядов для мирных ядерных взрывов, проводившихся в промышленных целях (создание водохра-

нилищ и полостей для хранения газоконденсата, сейсмозондирование, другие направления этой деятельности). Здесь же следует указать на получение важной информации о нейтронных потоках высокой плотности при испытании специальных ядерных устройств, предназначенных для получения далеких трансурановых элементов взрывным методом. Эта проблема изучалась в ряде экспериментов на Семипалатинском и Харабалинском полигонах.

Радиохимические методы позволили аттестовать различные конструкции защитных сооружений в опытах по изучению радиационной стойкости образцов ядерных вооружений и элементов ядерных зарядов к нейтронному и гамма-излучению, когда мгновенные излучения ядерного взрыва выводились из штолен на земную поверхность. С помощью этих методов можно было аттестовать различные конструкции защитных сооружений, возведенных на полигонах и служивших для предотвращения выхода радиоактивных продуктов взрыва на облучательные позиции. В конечном итоге был создан комплекс установок, которые гарантированно обеспечивали радиационную и экологическую чистоту выполнявшихся экспериментов.

Радиохимические методы сыграли существенную роль при проведении различного рода экспериментов по изучению газодинамических характеристик модельных устройств и ядерных зарядов с нестандартными системами подрыва.

За большой вклад в развитие радиохимических исследований при создании и совершенствовании ядерно-оружейного комплекса СССР С. П. Весновскому, А. А. Дружинину и Н. П. Мартынову в 1985 году была присуждена Государственная премия. В 1994 году Государственная премия РФ была присуждена Ю. И. Чубарову за разработку новой штатной методики определения энерговыделения зарядов при испытаниях в скважинах по результатам масс-спектрометрического анализа состава инертных газов. Возможности определения другого компонента энерговыделения – за счет реакций синтеза – были рассмотрены и реализованы В. С. Пинаевым и С. П. Весновским.

В настоящее время радиохимиками достигнуты значительные успехи в ряде новых направлений. Среди них – конструирование систем, обеспечивающих экологическую безопасность модельных экспериментов с макетными образцами. Не менее важным является исследование поведения оружейных конструкционных материалов в ядерных боеприпасах при различного вида аварийных ситуациях в целях повышения безопасности ядерного оружия при его хранении и транспортировке.

Уникальные данные получены при радиохимических исследованиях уровня выхода в окружающую морскую среду оружейного плутония после аварий атомных подводных лодок с ядерными боеприпасами (АПЛ К-219 у Бермудских островов, АПЛ «Комсомолец» в Норвежском море).

В последние годы учеными-радиохимиками выполнен ряд интересных и значимых работ, которые могут быть отнесены к конверсионному направлению. Прежде всего следует отметить получение важнейших данных при исследовании радионуклидного состава выбросов из разрушенного реактора четвертого блока Чернобыльской АЭС в апреле-мае 1986 года. Эти результаты послужили основой для прогнозов и оценок радиоактивных загрязнений прилегающих территорий, а также для формирования исследовательских программ ряда институтов и организации контроля радиационной безопасности при ликвидации последствий чернобыльской аварии.

Успешно завершены разработки новых современных технологий очистки загрязненных радиоактивными элементами и тяжелыми металлами почв и грунтовых вод, в том числе и при наличии органики. Масс-спектрометрическая лаборатория радиохимического отдела долгое время выполняла роль отраслевой, разрабатывая и внедряя на предприятиях отрасли методики масс-спектрометрического анализа конструкционных материалов и газовых смесей, а также различного вида примесей.

В 1967 году в радиохимическом отделе вступила в строй лаборатория электромагнитного разделения актинидных изотопов. Продукция этой лаборатории обеспечила выполнение государственной программы измерения ядерно-физических констант, необходимых как для разработчиков ядерного оружия, так и для реакторостроения и ряда направлений фундаментальной науки. С 1990 года эта лаборатория снабжает исследовательские центры ряда зарубежных стран уникальными высокообогащенными изотопами. Коллективом лаборатории успешно завершены исследования по стабилизации рабочих характеристик процесса электромагнитного разделения изотопов актинидов, в частности плутония.

К настоящему времени подготовлен контракт с МАГАТЭ на наработку высокочистого плутония-244, необходимого для создания нового поколения стандартов, внедряемых в систему лабораторий МАГАТЭ, для контроля за нераспространением ядерных материалов, а также обнаружением необъявленной ядерной деятельности. Существенный вклад внесен лабораторией электромагнитного разделения в уникальные работы по синтезу тяжелых трансактинидных элементов, выполняе-

мые Флеровской лабораторией ядерных реакций ОИЯИ (г. Дубна).

В последнее время начаты работы по созданию оптимальной технологии для производства тория-229 и актиния-225, интерес к которым стремительно возрастает в ряде стран в связи с впечатляющими результатами, полученными при использовании этих изотопов в терапии раковых заболеваний.

Контроль качества конструкционных материалов на всех стадиях разработки ядерных боеприпасов представляет одно из важнейших направлений работ, проводимых в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Широкий перечень конкретных задач с самого начала требовал химико-аналитического сопровождения. Поэтому очевидной стала необходимость создания единой структуры, и в ноябре 1957 году в секторе 4 был образован специализированный отдел прикладной и аналитической химии во главе с В. Р. Негиной. Первоначально в состав этого отдела вошли радиохимики и спектральная группа.

Перед отделом были поставлены следующие основные задачи:

– химические и физико-химические исследования материалов при разработке, обеспечении надежности, безопасности и сохраняемости ядерных зарядов (ЯЗ) и ядерных боеприпасов (ЯБП);

– синтез материалов, применяемых в конструкциях узлов ЯЗ и ЯБП и при проведении физических исследований;

– разработка, совершенствование и внедрение на опытном и серийном производствах методик количественного химического анализа конструкционных материалов.

Химиками-аналитиками выполнен огромный объем исследований, особенно в области анализа конструкционных материалов, металлов, их сплавов и гидридов, как на содержание основных компонентов, так и на примесный состав. Для выполнения этих работ были внедрены и широко использовались гравиметрия, спектрофотометрия, электрохимические методы, эмиссионная и абсорбционная спектроскопия, рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия и другие методы. Особое место занял анализ специальных полимерных и композиционных материалов. В его становлении не только отрабатывались методики элементного состава матрицы, наполнителя и микропримесей, но и осуществлялось аналитическое сопровождение всех стадий технологического процесса производства материалов.

Большой круг вопросов решался при разработке специальных пиротехнических составов. Жесткие требования к надежной работе узлов на базе таких составов обусловили комплексный подход к исследованию исходных материалов на основное вещество и примесный состав, проверке однородности составов и целевых продуктов горения. За работы в области конструкционных материалов и пиротехнических составов начальник отдела В. Р. Негина и начальник лаборатории Э. А. Козырева награждены Государственной премией СССР.

С середины 1960-х годов в отделе развивается новое направление работ, связанное с синтезом оптически активных сред. В короткий срок были разработаны методы получения жидких и газовых сред для оптических квантовых генераторов, что позволило обеспечить материалами физические стенды и установки.

Существенный вклад отделом был внесен в решение задач, связанных с повышением надежности ЯБП. Известно, что конструкционные материалы, особенно полимерсодержащие, подвергаются старению и вследствие этого процесса – деструкции, продукты которой, накапливаясь в герметичных объемах ЯБП, могут быть причиной сбоя в работе электронных блоков. Кроме того, возможна активизация коррозионных процессов. Для прогнозирования состояния микроклимата в ЯБП был проведен большой объем работ по изучению газовыделения из конструкционных материалов. Следствием этих исследований явилась разработка нескольких типов устройств, регулирующих состояние микроклимата в ЯБП.

Особо следует отметить разработку технологии изготовления крупногабаритных металлсодержащих полимерных блоков. Была изучена кинетика полимеризации матрицы в присутствии солевого наполнителя и изготовлены блоки с высочайшей однородностью распределения металла в матрице. Полученные материалы были использованы в уникальных физических опытах.

Радиоэлектроника и автоматизация

Физические эксперименты, которые проводились в институте в соответствии с основной тематикой, отличались высокой сложностью, часто они были первыми в мире по данному направлению. Это обстоятельство в сочетании с уникальностью физических установок, разработанных в отделении (нередко в единственном экземпляре), обуславливало нетривиальность задач измерительного обеспечения, необходимость отыскания нестандартных решений.

Для проведения исследований и полномасштабных испытаний экспериментаторам-физикам необходимы были различного вида усилители и предусилители электрических сигналов, интеграль-

ные и дифференциальные амплитудные анализаторы, пересчетные схемы, регистраторы быстропротекающих процессов и другое измерительное оборудование, которое в те годы не производилось отечественной промышленностью. Поэтому необходимое электронное измерительное оборудование создавалось в секторе 4.

Одной из первых уникальных электронных разработок был 100-канальный амплитудный анализатор, образцы которого много лет успешно использовались в лабораториях.

В 1958 году был создан специализированный отдел электроники во главе с А. А. Ростовцевым. Работа отдела внесла заметный вклад в оснащение подразделений многоканальными системами измерений, спектрометрической аппаратурой, образцами осциллографических регистраторов процессов и другими приборами. Здесь прежде всего следует отметить разработку и внедрение 1024-канального амплитудного анализатора с памятью на ферритах.

Специалисты отдела всегда работали вместе с «электронщиками» других лабораторий, они участвовали в экспедиционных измерениях, в измерениях на внутренних площадках института, постоянно принимали участие в экспериментах, проводимых на физических установках. Наличие высококлассных специалистов и постоянная востребованность результатов их работ не только служили стимулом активности, но позволили сформировать долговременную стратегию — техническую идеологию электронных разработок для физических исследований. Основой этой идеологии стала концепция цифровой регистрации. Следование ей позволило создать один из первых в СССР цифровых осциллографов. Он назывался «Фиалка» и за его разработку группа сотрудников отделения была удостоена бронзовой медали ВДНХ. Именно эта идеология обеспечила автоматизацию экспериментов, широкомасштабное использование ЭВМ, развитие направления цифровой обработки данных.

Отделение 04 быстро вышло на передовые позиции в институте и отрасли по применению ЭВМ в системах регистрации параметров и управления физических установок, создании вычислительных сетей коллективного пользования.

Первыми автоматизированными системами в институте и отрасли были:

— система «Полимер» для многоканальных измерений эффективных флюенсов нейтронов, дозовых характеристик γ-излучения и радиационного воздействия при исследованиях радиационной стойкости объектов на импульсных ядерных реакторах;

Автоматизированная система управления и контроля работы установок комплекса «Пульсар»

— система «Реактиметр» для оперативного определения основных ядерно-физических характеристик импульсных реакторов;

— система «Рим» для автоматизации сбора и обработки информации во взрывных и электроразрядных экспериментах, связанных с накоплением энергий высоких плотностей, генерированием и изучением сверхсильных магнитных полей, больших импульсных токов и высоких напряжений;

— система «Автограф» для ввода и машинной обработки графических изображений, впоследствии развитая подсистемой автоматической обработки изображений на микроденситометре IBUS.

С середины 1970-х годов в отделении начала работать вычислительная сеть коллективного пользования, в состав которой входило более 100 удаленных терминалов, расположенных в пяти зданиях на площадке отделения. Сетевое программное обеспечение LOCNET впоследствии широко использовалось в других подразделениях института и на предприятиях отрасли.

Чрезвычайно объемной и сложной была работа по созданию автоматизированной системы управления и контроля на установке ЛИУ-30 и комплексе «Пульсар». На момент разработки система не имела аналогов в отрасли по числу каналов управления и контроля, по многомашинной иерархической структуре построения. Разработка системы, выполненная под руководством Г. М. Скрипки и В. С. Горкунова, вобрала в себя весь накопленный к этому времени опыт по автоматизации измерений. В период выполнения этой разработки комплексно решались многие сложные вопросы. Прежде всего это обеспечение работоспособности ЭВМ и измерительных блоков в условиях рассеянных переменных электромагнитных

полей и паразитных наводок, затем – объединение территориально разнесенных подсистем измерения разнородных сигналов, синхронизация работы физических установок, имеющих различные по времени моменты подготовки систем и вывода их на рабочие режимы. Такая система для уникального комплекса физустановок успешно заработала во ВНИИЭФ и стала первой в институте и отрасли. Впоследствии при переводе системы на персональные ЭВМ и создании вычислительной сети коллективного пользования на комплексе «Пульсар» был вновь выполнен значительный объем работ по ее модификации.

Начиная с 1991 года отдел занимается проблемой использования средств автоматизации и компьютерных технологий для обеспечения безопасности при работах с делящимися материалами. С 1995 года эти работы получили название «Системы учета и контроля ядерных материалов». Они развиваются в рамках сотрудничества с национальными лабораториями США по контролю за незаконным распространением ядерных материалов и технологий.

В 1995 году в ИЯРФ начало развиваться направление, связанное с автоматизацией систем контроля и управления в области тритиевых технологий. Были разработаны системы контроля и управления тритиевых комплексов и мишеней, созданных во ВНИИЭФ для экспериментов по изучению мюонного катализа ядерных реакций синтеза. Эти эксперименты проводились на фазотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (г. Дубна) на установке ТРИТОН. Сотрудники ИЯРФ участвовали также в автоматизации экспериментов по получению и изучению экзотических легких нейтронно перегруженных ядер, проводимых на установке АКУЛИНА циклотрона У-400М (Лаборатория ядерных реакций ОИЯИ под руководством академика Ю. Ц. Оганесяна). В результате совместных экспериментов изучены параметры мю-катализа в широком диапазоне температур, плотностей и концентраций в H/D/T-смесях, дейтерии и тритии, получены новые данные по энергетическим состояниям ядер ^{4}H и ^{5}H.

Развитые подходы позволили вывести на высокий уровень автоматизацию исследовательских и технологических установок ВНИИЭФ, предназначенных как для исследований в интересах управляемого термоядерного синтеза (установка ПРОМЕТЕЙ), так и для решения задач основной тематики ВНИИЭФ. В ходе создания систем управления тритиевых комплексов были разработаны и сертифицированы приборы для обеспечения радиационной безопасности работ (автоматизированные радиометры трития РТА-4), которые являются базовыми для создаваемых автоматизированных систем контроля радиационной обстановки.

Физическая защита, учет и контроль нераспространения ядерных материалов и радиоактивных веществ

Проблема надежной физической защиты ядерных материалов для ВНИИЭФ была одной из ключевых с первых лет работы над ядерным оружием. С начала 1970-х годов она получила дополнительное направление в связи с решениями по ограничению ядерных вооружений. Возникла необходимость как в обеспечении обоснованного выверенного подхода к содержанию заключаемых договоров по сокращению вооружений, так и в организации эффективного контроля их соблюдения. Проблемы надежного хранения, учета и контроля делящихся материалов стали еще более актуальными. Постановлениями Правительства СССР на Минсредмаш (конкретно на ВНИИЭФ как на головной институт) было возложено решение обширного круга задач, вызванных потребностями сложившейся международной ядерной конъюнктуры, в том числе появлением угроз международного терроризма и осознанием необходимости исключить возможность использования террористами ядерного оружия.

Среди поставленных задач можно выделить следующие:

– разработка методов и технических средств радиационного контроля оборонных и других ведомств (оснащение рубежей охраны, контроль наличия ядерных боеприпасов на плавсредствах ВМФ, радиационный таможенный контроль, контроль перемещений штатного ядерного оружия по территории государства);

– внедрение результатов НИР (выполнение ОКР, промышленный выпуск разработанных приборов, устройств и систем) применительно ко всему перечню предвидимых условий контроля.

Важнейшим результатом выполненных исследований стал принципиальный пересмотр возможностей радиационного контроля изделий и материалов. Новые решения были связаны с созданием ряда оригинальных приборов, устройств и систем, обладающих рекордной чувствительностью на несколько порядков выше, чем чувствительность серийных радиометров, и обладающих меньшими массогабаритными характеристиками. К таким устройствам, защищенным авторскими свидетельствами, относятся:

– компактные, предельно легкие приборы поиска утерянных изделий (материалов);

– радиационные «паспортизаторы», позволяющие оперативно определять радиационные характеристики объекта, его принадлежность к тому или иному классу вооружений непосредственно на месте штатного базирования объекта без опасности утечки закрытой информации;

– устройства контроля пешеходных проходов и транспортных проездов, позволяющие фиксировать наличие минимальных (до долей грамма) количеств делящихся материалов. Сюда же следует отнести разработку «имитаторов» дорогостоящих сложных реальных ядерных объектов.

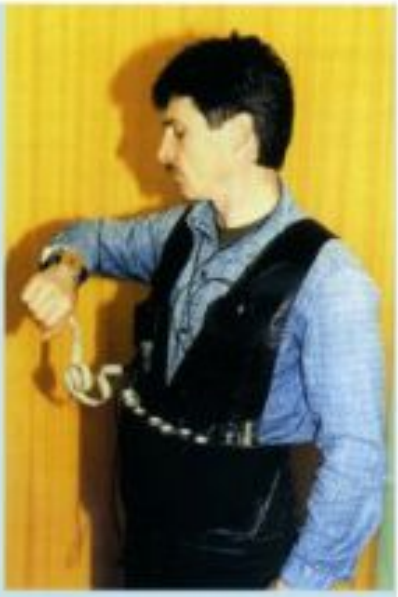
Важно отметить, что в процессе проводившихся работ особенное внимание всегда уделялось поиску, отбору, обоснованию методов и приборов не просто «высокочувствительных», но и характеризующихся сочетанием максимальной чувствительности с простотой устройства и эксплуатации. Так, в 1973 году специалисты ВНИИЭФ предложили способ «пассивной» нейтронной инспекции вместо сложного «активного» метода обнаружения ядерных зарядов на плавсредствах. Его простая техническая редакция для внедрения на флоте была найдена и обоснована в лабораторных исследованиях физического отделения ВНИИЭФ и позднее проверена на акватории в натурных исследованиях Института атомной энергии.

Сейчас можно констатировать, что именно пионерские работы физического отделения, выполненные в 1970–1980-е годы, заложили фундамент методологии радиационного контроля, на котором вот уже в течение десятков лет создаются методы контроля ядерных материалов и оружия. Теперь в этой работе участвуют десятки отечественных институтов и лабораторий, используя при этом концепции, методы и технические решения, впервые предложенные в физическом отделении ВНИИЭФ. Объективная достоверность измерений, основанная на регистрации собственных излучений делящихся материалов, и малая корреляция получаемых результатов с «человеческим фактором» являются основополагающими принципами в создании приборов радиационного контроля и автоматизированных систем учета и контроля ядерных материалов.

Особенно интенсивно работы по совершенствованию систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, созданию системы государственного учета и контроля ядерных материалов были развернуты после вступления в силу Указа Президента РФ от 15 сентября 1994 года «О первоочередных мерах по совершенствованию системы учета и сохранности ядерных материалов». Основу работ составили результаты исследований физиков по методам неразрушающего контроля

Портальный пешеходный радиационный монитор (Пост КПРМ-П1)

Носимый радиационный монитор БИРК-3



Прибор для скрытого поиска радиоактивных материалов ДОИ-2 с блоком управления и индикации в виде наручных часов

Портативное устройство радиационной паспортизации УРП-2М

ядерных материалов и специалистов по автоматизации процедур измерений и контроля. Успех обеспечивался активным творческим участием в работе людей с высокой профессиональной подготовкой. К работам по созданию систем учета и контроля за ядерными материалами (СУиК) были привлечены сотрудники различных специальностей (физики, электронщики, программисты, конструкторы, технологи), а также опытное производство ВНИИЭФ.

Значительными результатами совместных усилий являются:

– создание интегрированной автоматизированной СУиК на реакторной площадке ВНИИЭФ. Система разработана впервые в России и может рассматриваться как полигон, на котором происходит отработка технических решений по СУиК для предприятий ядерно-оружейного комплекса. Предложенная идеология построения автоматизированных СУиК основана на интегрированном контроле обращения ядерных материалов, включая контроль доступа к ним, контроль передачи и сохранности и контроль технологического процесса работ. По сути, это система обеспечения безопасности при работах с делящимися материалами. Она получила признание и принята к реализации на многих предприятиях;

– разработка ряда приборов для СУиК. К ним относятся пешеходные радиационные мониторы (КПРМ) и блоки индивидуального радиационного контроля (БИРК), радиационные паспортизаторы различного рода, предназначенные для контроля неизменности состояния ядерных материалов в закрытых объемах без их вскрытия. По приборам КПРМ и БИРК проведены всесторонние испытания и получены сертификаты соответствия в системе Госстандарта. Прибор БИРК, по оценке зарубежных экспертов, признан одним из лучших в мире. Приборы КПРМ и БИРК поставлены для использования в системах физической защиты на предприятия отрасли. Развитие работ по аппаратуре радиационного контроля проводится в виде создания приборов поиска и скрытого обнаружения делящихся материалов в потоке пассажиров и грузов, при досмотре грузовых отсеков транспортных средств, создания радиационных детекторов для контроля крупногабаритных морских контейнеров.

В 1982 году за комплекс работ по радиационному контролю группе сотрудников была присуждена Государственная премия СССР. Среди награжденных были сотрудники физического отделения ВНИИЭФ Г. П. Антропов, В. А. Белов и И. Е. Моисеев. В 2001 году за разработку и внедрение аппаратуры радиационного контроля на таможенных пунктах РФ премию Правительства России в числе других награжденных получил сотрудник ИЯРФ Г. М. Скрипка.

Работы по СУиК имеют хорошие перспективы на ближайший период. Планируется их развитие в рамках федеральных программ по созданию системы государственного учета и контроля ядерных материалов. Они также могут стать важной составной частью программ международного сотрудничества как в области контроля за незаконным распространением ядерных материалов и технологий, так и применительно к задачам противодействия ядерному терроризму и контролю за разоружением.

Предотвращение и ликвидация угроз ядерного и радиологического терроризма неразрывно связаны с решением сложнейших научно-технических задач по поиску, обнаружению, идентификации и ликвидации (демонтажу) ядерных и радиологических террористических устройств, выявлению и пресечению незаконного оборота

ключевых материалов, необходимых для их создания. Решение этих задач, адекватная оценка возможных последствий реализации угроз ядерного и радиологического терроризма, определение оптимальных действий, направленных на уменьшение риска или предотвращение этих угроз, требуют наличия высококвалифицированных специалистов в ядерной оружейной области и специального технологического оборудования. Компетентная и эффективная работа в этом направлении требует также специфического опыта, накопленного при создании ядерных зарядов и боеприпасов различных типов, и может быть выполнена только в федеральном ядерном центре.

В этих условиях именно научно-технический потенциал РФЯЦ-ВНИИЭФ может стать основой для создания и развития технологической системы безопасности России в отношении угроз ядерного и радиологического терроризма.

Участие в международных проектах

В 1995 году после визита делегации ВНИИЭФ под руководством Р. И. Илькаева в Европейский центр ядерных исследований (ЦЕРН, г. Женева) и подписания протокола о намерениях начались работы в «нетрадиционной» для ВНИИЭФ области фундаментальных исследований – физике высоких энергий. Одной из задач стала проверка космологических теорий.

Наиболее распространенной версией происхождения Вселенной является теория Большого Взрыва. Согласно этой теории предполагается, что в течение первых секунд после Большого Взрыва вещество находилось в особом состоянии, которому теоретики нашли красивое название – кварк-глюонная плазма (КГП). Затем Вселенная стала быстро расширяться, и КГП перешла в нормальную материю. Экспериментальное подтверждение наличия КГП могло бы дать окончательный ответ на вопрос о происхождении Вселенной.

Экспериментальная база для формирования КГП в земных условиях – это три ускорителя. Два из них – суперпротонный синхротрон SPS в ЦЕРНе, на котором ядерная программа начала выполняться с 1987 года, и RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) в Брукхэйвенской национальной лаборатории (BNL, США), запущенный в 2000 году, уже существуют. Третий ускоритель строится также в ЦЕРНе – это LHC (Large Hadron Collider).

Данных, полученных к настоящему времени на установках SPS и RHIC, недостаточно для ответа на вопрос о наличии КГП. Поэтому основные надежды физиков в этом направлении связаны с вводом в строй в 2007 году коллайдера LHC. Новая установка позволит получить встречные пучки ускоренных тяжелых ионов (вплоть до урана), при которых может произойти фазовый переход в КГП. ALICE (A Large Ion Collider Experiment) – это единственный эксперимент с тяжелыми ионами на будущем коллайдере LHC (другие три эксперимента связаны с физикой элементарных частиц). Главная цель опыта с тяжелыми ионами – создать в лаборатории сгусток КГП, найти ее сигналы и исследовать свойства.

Детектирующая система эксперимента ALICE является масштабным и технически сложным сооружением, включающим большое число детекторов, основанных на самых передовых достижениях науки, техники и технологии. Это трековые системы на полупроводниковых и газовых детекторах, времяпролетная система идентификации частиц, спектрометр фотонов высоких энергий на основе кристаллов из вольфрамата свинца ($PbWO_4$), мюонный спектрометр и другие устройства.

Подготовка эксперимента ведется на базе широкого международного сотрудничества институтов, в числе которых и РФЯЦ-ВНИИЭФ. Ученые и инженеры института (в основном специалисты ИЯРФ) участвуют в создании мюонного спектрометра и спектрометра фотонов высоких энергий PHOS.

Что касается создания большого электромагнитного спектрометра PHOS, то это единственный крупный физический проект в эксперименте ALICE под руководством российских физиков. По проекту PHOS работают несколько российских институтов во главе с ИАЭ – ИФВЭ (Протвино), ВНИИЭФ (г. Саров) и ОИЯИ (г. Дубна) – и, кроме того, девять институтов из семи стран. С российской стороны финансирование обеспечивают Федеральное агентство по атомной энергии и Министерство промышленности, науки и технологий.

Разработка и создание спектрометра являются комплексной задачей. В частности, для изготовления кристаллов $PbWO_4$ в 2001 году благодаря Министерству по атомной энергии Российской Федерации был реанимирован завод в Апатитах. Сейчас это завод «Северные кристаллы». На заводе налажена технология выращивания кристаллов $PbWO_4$ и развернуто их массовое производство для эксперимента ALICE. В ИАЭ организован аттестационный центр, одна из задач которого – 100 %-ный контроль всех монокристаллов. Проверяются оптические характеристики кристаллов (световыход, зависимость его от времени, прозрачность) и радиационная стойкость. В результате совместных усилий ИАЭ и завода удалось существенно улучшить эти важные характеристики.

Специалистам ИЯРФ поручено решение ряда сложных задач. В первую очередь – разработка

общей конструкции спектрометра и автоматизированных систем охлаждения, контроля и стабилизации температурного распределения в матрице кристаллов спектрометра. Затем – изготовление и сборка так называемых прототипов спектрометра, разработка программного обеспечения для их калибровки. После этого установки пройдут испытания на пучках ускорителей в ЦЕРНе. В этой работе также будут участвовать сотрудники ИЯРФ.

Расскажем немного подробнее о сути выполняемой ими работы.

Спектрометр PHOS состоит из пяти модулей, расположенных на несущем основании, и будет располагаться в шахте ускорителя LHC внутри магнита L3 на глубине около 60 м. Следует заметить, что ко всем конструкциям и материалам, устанавливаемым в шахте, предъявляются особые требования по радиационной стойкости, пожароопасности и токсичности. Примем во внимание, что спектрометр представляет собой многотонную (около 25 т) конструкцию, в которой общая масса кристаллов $PbWO_4$ равняется примерно 12,5 т. Охлаждение этой массы до рабочей температуры и поддержание температуры во времени с необходимой точностью являются достаточно трудной технической задачей, а проектирование и изготовление спектрометра такого масштаба и сложности требуют последовательного решения задач с проверкой принятых конструкторских и технологических решений на прототипах.

В ИТМФ ВНИИЭФ были проведены необходимые расчеты, а в ИЯРФ выполнена конструкторская разработка проекта. При этом решались достаточно сложные инженерные задачи по подготовке экспериментальной зоны к размещению детектирующей системы.

Начиная с 1997 года были проведены научные и технологические экспериментальные исследования свойств кристаллов из $PbWO_4$, а также тепловые и прочностные расчеты различных вариантов конструкций спектрометра. Для измерения температуры в матрице кристаллов разработаны и изготовлены специальные плоские никелевые терморезистивные датчики Ni100 толщиной 50 мкм, обеспечивающие точность измерения температуры до 0,05 °С. Благодаря малой толщине датчики можно устанавливать внутри матрицы без нарушения ее геометрии. Разработана система охлаждения и прецизионного измерения и стабилизации температуры, которая позволяет поддерживать температуру матрицы кристаллов с точностью 0,1 °С.

В 1997–2004 годы были разработаны и изготовлены два варианта прототипа охлаждаемого детектирующего модуля с матрицей 8 × 8 и 16 × 16 кристаллов, которые успешно прошли испытания в тестовых экспериментах на пучках ускорителей PS (протонный синхротрон) и SPS в ЦЕРНе. На прототипе с матрицей 8 × 8 калибровка проводилась на узком электронном пучке индивидуально для каждого канала, что при большом числе каналов требовало длительного времени работы ускорителя. При испытаниях прототипа с матрицей 16 × 16 была опробована методика калибровки широким электронным пучком, что существенно уменьшает время измерений, однако требует сложной математической обработки данных. Для калибровки на широком электронном пучке разработана специальная программа, которая позволяет проводить калибровку в режиме «online».

Система сбора данных спектрометра PHOS создается на электронных чипах ALTRO, специально разработанных для эксперимента ALICE и обеспечивающих кодирование аналоговых сигналов отдельных детекторов с частотой квантования 10 МГц и сжатие данных. Для проведения испытаний прототипа спектрометра с платами электроники на базе чипов ALTRO в ИЯРФ была разработана мониторная программа для декодирования и анализа в режиме «online» данных, регистрируемых с помощью этих чипов. Программа восстанавливает сжатый сигнал, извлекает информацию, необходимую для определения энергии и времени пролета частиц, обеспечивает online анализ и наблюдение данных в процессе измерений.

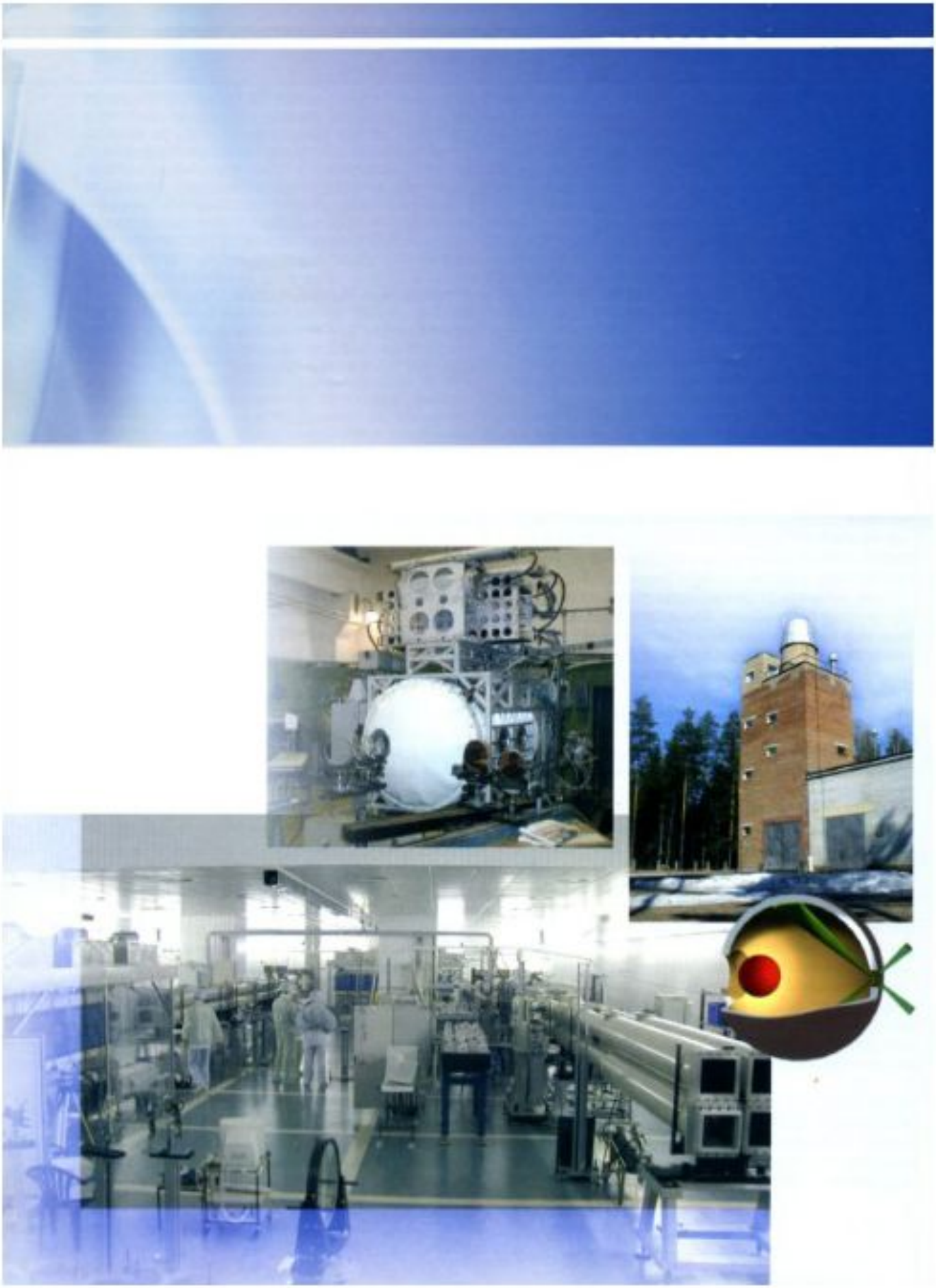
Заметим, что все калибровки проводятся на вторичных электронных пучках протонных ускорителей. Для прямой проверки возможностей спектрометра с точки зрения регистрации электромагнитных квантов в ЦЕРНе в 2004 году был выполнен ряд специальных экспериментов. В связи с необходимостью их проведения в ИЯРФ была создана программа, которая позволяет определить координаты и энергии частиц с учетом их возможного перекрытия, а также получать спектр эффективной массы для определенного типа элементарных частиц. Эта задача является весьма сложной, учитывая множественность событий (одновременная регистрация нескольких частиц) и особенности формы электромагнитного ливня, образующегося при попадании частицы в детектор (ливень захватывает несколько кристаллов). Полученные в результате обработки экспериментальные данные для частиц нужного исследователям типа хорошо согласуются с их реальными значениями.

В 2004 году тестовые испытания прототипов спектрометра были завершены. Они подтвердили высокое качество технических решений, заложенных в конструкцию спектрометра, и хорошую возможность получения требуемых параметров

детектора по энергетическому и временному разрешению.

В 2005 году разработка проекта спектрометра была полностью завершена. Механическая конструкция первого полномасштабного модуля изготовлена и доставлена в ЦЕРН, где специалисты ВНИИЭФ выполнили сборку части детектирующих линеек, их проверку и установку в модуль. В 2006 году планируется полностью завершить сборку первого модуля, провести его всесторонние испытания и калибровку на пучке ускорителя PS в ЦЕРНе. К сентябрю 2006 года в соответствии с планом работ по эксперименту ALICE первый модуль PHOS должен быть подготовлен для спуска в шахту.

Одной из перспективных разработок, которая ведется в ЦЕРНе также в рамках международного сотрудничества, является создание сверхпроводящего линейного ускорителя (SPL), рассчитанного на ускорение протонов до энергии 2,2 ГэВ. Задачей ИЯРФ, который подключился к этим работам в 2004 году, является создание прототипов первой секции ускорителя Linac-4, которая должна заменить действующую часть Linac-2. Разрабатываются два перспективных варианта на ускорение частиц от 3 до 10 МэВ: первый – типа Альвареца – совместно с ИТЭФ (Москва), второй – типа RFQ – совместно с ИФВЭ (г. Протвино). Модернизация ускорителя SPL связана с повышением средней мощности пучка до 4 МВт, так как SPL рассматривается в ЦЕРНе как потенциальная начальная часть к протонному драйверу нейтринной фабрики.



Институт лазерно-физических исследований

Истоки направления

Началом работ по лазерной тематике в РФЯЦ-ВНИИЭФ принято считать 13 марта 1963 года. Именно в этот день Ю. Б. Харитон провел совещание, где Я. Б. Зельдович изложил физику вынужденного излучения и объяснил, почему основные свойства лазерного излучения определяются механизмом этого явления. На совещании среди других присутствовали специалисты по оптическим свойствам ударных волн – С. Б. Кормер и Г. А. Кириллов, которые активно приступили к развитию нового направления в КБ-11.

Возникает естественный вопрос, почему данное направление стало так динамично развиваться в центре, основной тематикой которого была работа над ядерным оружием? Лазер является уникальным устройством, энергию излучения которого можно концентрировать в малом объеме. В результате появляется возможность проведения исследований в области физики высоких плотностей энергии. Это направление всегда играло большую роль в работах КБ-11. Кроме того, на всех этапах развития лазерной науки исследователи стремились – и стремятся – создать мощный лазерный пучок и сфокусировать его в минимальные размеры. Такие возможности привлекли внимание А. Д. Сахарова, который в 1961 году предложил использовать мощное лазерное излучение для инициирования термоядерных реакций в малых объемах.

При взрыве термоядерного заряда физические процессы происходят при высокой плотности энергии. Без ядерных испытаний изучать в пол-

Ю. Б. Харитон с ведущими сотрудниками лазерного отделения (будущий ИЛФИ). Слева направо: Быструев И. М., Безнасюк Н. Н., Муругов В. М., Григорьев Ф. В., Урлин В. Д., Сухарев С. А., Ширнин В. Т., Харитон Ю. Б., Ткачев В. И., Кириллов Г. А., Кормер С. Б., Сипицын М. В., Фунтиков А. И., Великанов С. Д.

Научно-технический совет ИЛФИ, 2000 г. Слева направо: Выскубенко Б. А., Григорович С. В., Ерошенко В. А., Куликов С. М., Гаранин С. Г., Урлин В. Д., Кочемасов Г. Г., Муругов В. М., Сухарев С. А., Кириллов Г. А., Великанов С. Д., Богуненко Ю. Д., Жидков Н. В.
В первом ряду Безнасюк Н. Н., Изгородин В. М.

ном объеме эту область физики невозможно. Можно, однако, улучшать понимание физики процессов, совершенствуя расчетно-теоретические модели и тестируя их в лабораторных опытах, где высокая плотность энергии создается в течение более короткого времени и в меньшем объеме.

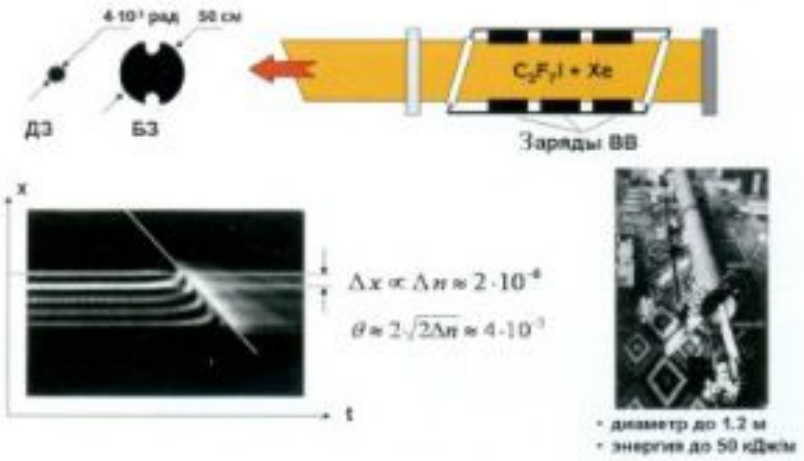
Уникальные мощные лазерные установки позволяют осуществить радиационную имплозию термоядерных мишеней, реализуя физические процессы, имеющие ту же природу, что и процессы, происходящие в термоядерных зарядах.

Главные отличия условий, реализуемых в лазерных экспериментах, от условий в термоядерных зарядах связаны с существенно меньшими размерами исследуемых областей, меньшим уровнем реализуемых температур и давлений, отсутствием зажигания термоядерного горючего. Основная ценность таких исследований для ядерно-оружейных задач связана с возможностью верификации расчетных методов и физико-математических моделей, описывающих существенные процессы, происходящие в термоядерных зарядах. К достоинствам исследований с применением лазеров относятся возможность многократного проведения экспериментов и развивающаяся прецизионная диагностика, которые позволяют поэлементно изучать влияние на работу мишеней различных изменений (однородность облучения, геометрия мишеней, различные гармоники, возмущения и т. п.). Это обстоятельство представляется крайне важным в связи с тем, что при отработке термоядерных зарядов подобная возможность в основном отсутствовала.

Экспериментальные работы по лазерной тематике начались в середине 60-х годов. В

1965 году к Ю. Б. Харитону обратился Н. Г. Басов с предложением провести совместные исследования возможности создания лазеров с максимально достижимой энергией излучения на базе фотодиссоционных лазеров. Предложение явилось следствием того факта, что взрыв ядерного заряда сопровождается очень мощным световым излучением, которое предположительно можно использовать для световой накачки лазеров. При обсуждении этих вопросов с Н. Г. Басовым Юлий Борисович рассказал, что температура свечения ударной волны в воздухе при действии ядерного взрыва из-за эффекта предпрогрева и экранировки излучения не превышает ~40000 К (по данным работ Я. Б. Зельдовича и Ю. П. Райзера). Он предложил рассмотреть более реальный источник световой накачки — свечение фронта ударной волны в благородных газах, возбуждаемой взрывом обычного ВВ (первый отчет по применению свечения фронта ударной волны для накачки лазеров был выпущен в 1965 году, авторы С. Б. Кормер, Г. А. Кириллов). Н. Г. Басов с этим предложением согласился, после чего начались совместные исследования сотрудников ФИАН и ВНИИЭФ по созданию мощных лазеров. Во ВНИИЭФ проведение этих исследований было поручено С. Б. Кормеру и его сотрудникам.

Результатом более чем 30-летней работы сначала отделения, затем Института лазерно-физических исследований стало всестороннее изучение основ работы различных типов лазеров, создание их уникальных образцов, исследовательских стендов и установок, проведение исследований по взаимодействию лазерного излучения с веществом.



Взрывной йодный лазер

Взрывные фотодиссоционные лазеры

В 1965 году по инициативе Ю. Б. Харитона и Н. Г. Басова во ВНИИЭФ начались экспериментальные исследования по созданию лазеров с максимально достижимой энергией на базе взрывных фотодиссоционных лазеров (ВФДЛ), в которых для создания инверсии используется излучение фронта ударной волны, генерируемой в инертном газе взрывом ВВ. Эти работы выполнялись под руководством С. Б. Кормера большим коллективом исследователей.

Принципиальная схема ВФДЛ такова. В цилиндрический объем, ограниченный прозрачными плоскопараллельными пластинами, напускается смесь перфторалкилйодида (C_3F_7J) с ксеноном. При взрыве ВВ внутри лазерного объема распространяется ударная волна, излучение которой вызывает фотодиссоциацию йодида с образованием возбужденного йода. Тем самым в слое газа перед фронтом ударной волны создается инверсная населенность энергетических уровней атома йода, приводящая к лазерной генерации. На этом принципе во ВНИИЭФ, в кооперации с ФИАН и ГОИ, был создан лазер мегаджоульного уровня энергии при длительности импульса ~100 мкс. Параметры излучения этого лазера до сегодняшнего дня остаются рекордными по уровню энергии для импульсных лазеров любого типа. Реализация этого проекта стала яркой иллюстрацией возможностей, которые открывает сочетание разрушительной силы взрыва и тонких когерентных свойств лазерного излучения.

Основными характеристиками лазера являются энергия и расходимость лазерного пучка, т. е. сила излучения. Расходимость излучения первых образцов ВФДЛ превышала дифракционную в тысячи раз. Исследования показали, что основными факторами, определяющими качество излучения, являются тип резонатора и оптические неоднородности среды в слое перед ударной волной. За счет оптимизации лазерной среды (оптические неоднородности были уменьшены на порядок) и разработки нового типа резонатора (с нерезонансной обратной связью и угловым селектором) удалось создать ВФДЛ с энергией излучения до 60 кДж при расходимости ~10^{-4} рад, который до сих пор находит широкое применение в исследовательских программах. Разработка устройств обращения волнового фронта (ОВФ) для компенсации оптических неоднородностей позволила получить

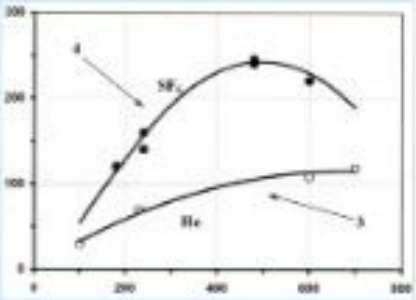
Получение сверхсильных электромагнитных полей с помощью йодного лазера с ОВФ

на ВФДЛ практически дифракционную расходимость излучения и создать лазеры с рекордной силой излучения 10^{14} Дж/ср (10^{19} Вт/ср).

Возможности по концентрации энергии излучения ВФДЛ с ОВФ наглядно продемонстрированы на установке «Лямбда», где излучение взрывного лазера было сфокусировано в пятно размером порядка длины волны излучения (~1,5 мкм) и достигнута интенсивность излучения $3 \cdot 10^{18}$ Вт/см^2. Для импульсов наносекундной длительности это значение является рекордным.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ создан специализированный стенд, оборудованный современной контрольно-измерительной аппаратурой, приземными, воздушными и вакуумными трассами для исследования и моделирования прохождения излучения в различных слоях атмосферы.

Химические фтор-водородные лазеры



Зависимость удельного энергосъема от давления фтора в рабочей смеси SF_6 и He

В 1970 году по инициативе Ю. Б. Харитона и С. Б. Кормера были начаты исследования в области создания мощных химических лазеров, инверсия населенности в которых формируется в результате цепной химической реакции фтора с водородом (дейтерием). Привлекательной особенностью химических лазеров является то, что в них энергия лазерного излучения черпается не столько из внешнего источника накачки, сколько из энергии, выделяющейся при протекании химических реакций в среде. В результате экспериментальных работ была изучена физика химических лазеров, разработана технология работы с ними. Получены рекордные значения удельной энергии лазерного излучения, приходящейся на единицу объема активной среды: 250 Дж/л.

Это стало возможным благодаря целому ряду новшеств, а именно:

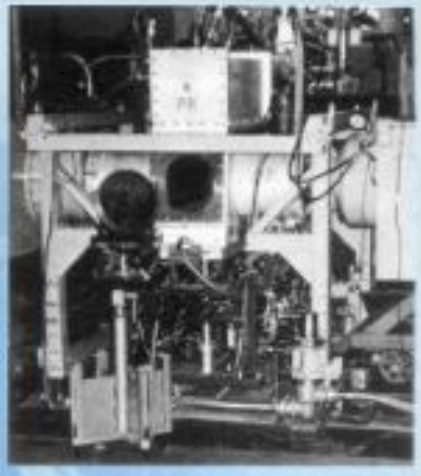
– использованию для инициирования реакции мощного источника света – свечения фронта ударной волны в благородных газах;

– применению впервые предложенной и отработанной технологии приготовления в лазерном объеме высококонцентрированных рабочих смесей фтора и водорода (где давление фтора не менее 1 атм), а также технологии снижения в смеси концентрации ингибитора (замедлителя) реакции – молекулярного кислорода;

– минимизации скорости релаксационных процессов при добавлении в рабочую смесь инертных по отношению к фтору и водороду многоатомных газов, в первую очередь SF_6.

Совместно с РНЦ «Прикладная химия» во ВНИИЭФ был создан и испытан самый мощный в мире химический лазер с энергией в импульсе 40 кДж.

Анализ возможности использования химических лазеров со взрывной накачкой показал, что существенно большей перспективой применения обладают неуничтожаемые системы, работающие в импульсно-периодическом режиме. Инициирование химической реакции в этом случае обеспечивается свободными электронами, которые могут быть получены либо в ускорителе в виде электронного пучка, либо в электрическом разряде.



Импульсно-периодический химический лазер с электронно-пучковым инициированием цепной реакции

Успех создания эффективных импульсно-периодических химических лазеров основан на ряде научно-технических решений. Среди них:

– поперечное инициирование реакции широким электронным пучком, создаваемым мощным ускорителем или электрическим разрядом;

– впервые разработанная технология создания потоков высококонцентрированных смесей на основе фтора и водорода.

Результатом их применения стал химический лазер с энергией излучения в импульсе 6 кДж, расходимостью излучения, близкой к дифракционной, техническим КПД – 70 % (самым высоким для лазеров вообще), частотой следования импульсов 1–4 Гц.

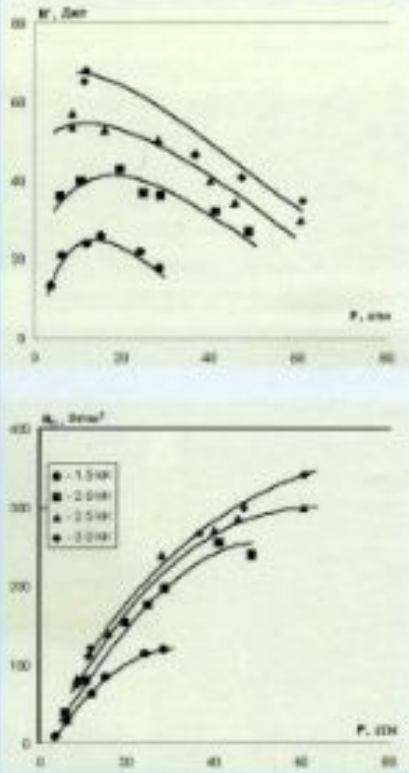
Продуктивными оказались работы по изучению лазеров на нецепной реакции фтора с водородом (дейтерием), где в качестве фторсодержащего вещества применялся гексафторид серы SF_6, диссоциирующий в электрическом разряде. Для обеспечения длительной и безопасной работы лазера в импульсно-периодическом режиме созданы установки с замкнутым циклом смены рабочей смеси. Показана возможность получения в электроразрядном лазере на нецепной химической реакции расходимости излучения, близкой к дифракционному пределу, частоты следования импульсов до 1200 Гц и средней мощности излучения до 0,5 кВт.

Разработана концепция масштабирования электроразрядных лазеров с пластинчатыми электродами, создан химический лазер с энергией в импульсе более 10 Дж. В настоящее время такие лазеры находят широкое практическое применение.

а *б*

Импульсно-периодические химические лазеры для различного применения с расходимостью излучения, близкой к дифракционной. Спектр излучения 2,6–3,3 мкм; 3,5–4,1 мкм: а – энергия в импульсе 100 Дж, частота следования импульсов 20 Гц; б – энергия в импульсе 30 мДж, частота следования импульсов 1000 Гц

Стенд для исследования прохождения излучения в различных слоях атмосферы



Зависимость удельного энергосъема и мощности, отнесенной к площади выходного поперечного сечения сопла, от давления. Параметры сопла: размер критического сечения $h = 0,1$ см, отношение площадей поперечного сечения выходного и критического $A/A^* = 34$. Состав газа $= 0,1CO_2 + 0,5N_2 + 0,4He$

Газодинамические лазеры

К началу 70-х годов резко возрос поток научных публикаций, посвященных исследованиям газодинамических лазеров (ГДЛ). Связано это было с тем, что первые же работы показали возможность создания мощных газодинамических лазеров непрерывного действия на двуокиси углерода. В газодинамических лазерах источником энергии излучения служит тепловая энергия молекулярного газа, равновесно нагретого до высоких температур. Инверсия получается в результате того, что различные колебательные моды молекул газа при быстром охлаждении релаксируют с различной скоростью. Для охлаждения используется сверхзвуковое расширение газа. Такие лазеры могли найти применение в промышленности и в оборонной технике. Но из текста опубликованных работ нельзя было понять, существует ли возможность увеличения энергетических характеристик ГДЛ.

По инициативе С. Б. Кормера во ВНИИЭФ в 1974 году развернулись исследования в этом направлении. Была создана экспериментальная установка, в которой нагрев газа осуществлялся с помощью электрического взрыва. Выбор физической схемы установки оказался настолько удачным, что в достаточно короткие сроки удалось исследовать энергетические характеристики ГДЛ для различных составов газов в широком диапазоне температур и давлений. Помимо ГДЛ на углекислом газе (CO_2) был исследован и N_2O-ГДЛ. Были получены данные в диапазоне высоких давлений и температур, ранее недоступном для рассмотрения. Полученные энергетические характеристики – энергия на единицу объема и приведенная мощность – в два-три раза превышали значения, достигнутые в экспериментах другими группами исследователей.

По существу, полученный набор данных определил энергетические возможности ГДЛ как физического прибора для любых способов нагрева рабочего газа. Полученные в экспериментах зависимости удельного энергосъема и приведенной мощности были использованы для апробирования численной модели ГДЛ.

Рекордные удельные энергетические характеристики излучения ГДЛ достигнуты благодаря изобретению в РФЯЦ-ВНИИЭФ соплового блока с оригинальной системой смешения нагретого азота с рабочей молекулой (CO_2) и газом релаксантом (He, H_2O). По этим характеристикам ГДЛ превосходит электроразрядные лазеры и близок к лучшим образцам химических лазеров.

Кислородно-йодные лазеры

Химический кислородно-йодный лазер (КИЛ) – единственный к настоящему времени химический лазер на электронных переходах. КИЛ начинается с генератора молекулярного синглетного кислорода, энергия возбуждения которого при столкновениях передается с высокой эффективностью атомам йода. Первые же публикации обозначили достоинства этого типа лазеров, которые привлекли к исследованиям его работы несколько групп физиков в различных странах мира. КИЛ обладает:

– возможностью получения высокой мощности излучения с малой расходимостью светового излучения, что обусловлено сравнитель-

но короткой длиной волны электронного перехода (λ = 1,315 мкм) и малыми оптическими неоднородностями рабочей среды;

– большим удельным запасом энергии (2,8 кДж/г O_2^*), заложенным в химических реакциях;

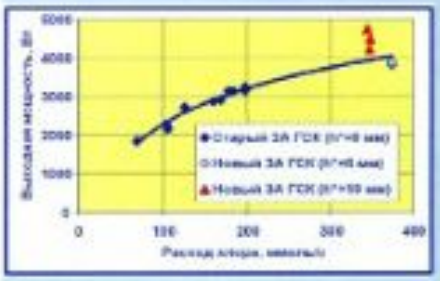
– слабым поглощением излучения в атмосфере.

Во ВНИИЭФ работы по химическому КИЛ начались в 1981 году по инициативе С. Б. Кормера. Уже через год была получена мощность излучения 180 Вт, в 1986 году – 900 Вт. В 1991 году на установке с дозвуковым потоком газа была достигнута мощность излучения около 5 кВт при удельном съеме энергии 400 Дж/г и химической эффективности ~24 %.

Появление дискового генератора синглетного кислорода с более высоким выходным давлением позволило создать КИЛ со сверхзвуковым потоком, имеющий высокие удельные характеристики. В 1995–1999 годах в ИЛФИ был создан новый тип генератора синглетного кислорода с закрученным потоком газа (ЗА ГСК). Максимальная химическая эффективность ЗА ГСК составляла ~70 %. Плотность потока электронной энергии превышала 1,6 кВт/см^2. Подмешивание буферного газа – азота к хлору (N_2:Cl_2 = 2:1) на входе в ЗА ГСК обеспечило увеличение выходного давления реактора до 250 торр при содержании синглетного кислорода около 55 % и степени переработки хлора примерно 95 %. Такими характеристиками не обладает ни один из известных в мире типов реакторов.

В 1999 году во ВНИИЭФ на базе стенда «Синглет» была успешно испытана сверхзвуковая модель КИЛ. В результате оптимизационных исследований была достигнута химическая эффективность лазера 33 %, что является результатом мирового уровня. Модернизация ЗА ГСК и соплового блока дала возможность повысить мощность лазерного излучения КИЛ на стенде «Синглет» до уровня более 7 кВт.

а

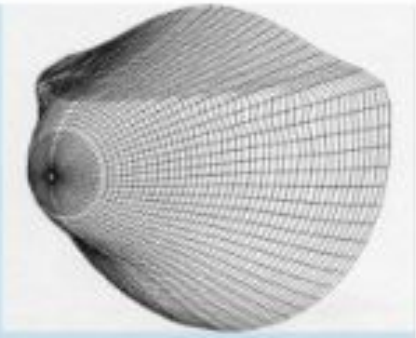


б

Исследования физики работы КИЛ на установке «Синглет»: а – установка «Синглет»; б – зависимость выходной мощности лазерного излучения при использовании различных модификаций генератора синглетного кислорода

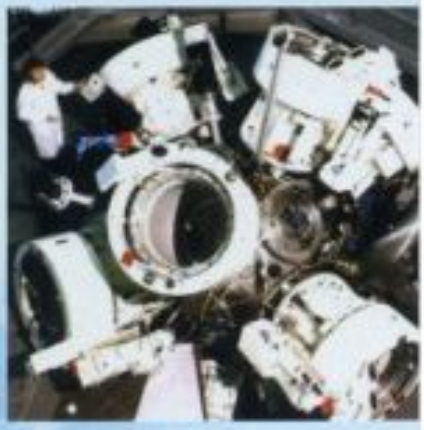
Воздействие лазерного излучения на вещество

Во ВНИИЭФ созданы различные импульсные, частотно-импульсные и непрерывные лазеры со спектром излучения от видимого до далекого инфракрасного света и временем воздействия на мишень в диапазоне от 10^{-12} до 1 с. Эти разработки дали возможность изучить особенности физических процессов, возникающих при взаимодействии излучения с веществом. Основное отличие исследований, проводимых во ВНИИЭФ, от исследований в других российских и зарубежных лабораториях обусловлено наличием лазерных установок с выходной энергией до десятков и даже сотен килоджоулей. Это позволило не только изучить природу линейных и нелинейных процессов взаимодействия излучения с плазмой, газовыми и конденсированными средами, но и создать уникальные лазеры на принципах вынужденного комбинационного и мандельштамм-бриллюэновского рассеяний. Эксперименты с высокоэнергетичными лазерами позволили определить масштабные эффекты при воздействии как на прозрачные, так и на непрозрачные материалы. Например, при создании ВФДЛ с выходной энергией излучения 1 МДж потребовались оптика и зеркала с апертурой 1,3 метра. Исследования пробоя и лучевой стойкости оптических сред при больших, порядка десятков сантиметров, пятнах облучения показали, что стекло К8, из которого изготовлялся резонатор лазера и другие оптические элементы, имеет лучевую прочность ~100 Дж/см^2 при длине импульса ~100 мкс, что и



Трехмерный расчет деформации поверхности головной ударной волны при прозете конуса через разреженный объем

а



б

Мощная 12-канальная лазерная установка «Искра-5» с энергией лазерного импульса 30 кДж при длительности 0,3 нс на длине волны 1,315 мкм: а — здание установки; б — камера взаимодействия

позволило создать лазер с энергией излучения порядка 1 МДж. Другим примером является выявление сильной зависимости механического импульса, приобретаемого мишенью при облучении лазером, от размера пятна облучения.

Одновременно с экспериментами проводятся теоретические исследования физических процессов, сопровождающих взаимодействие излучения с веществом. Созданы и продолжают развиваться расчетные модели, адекватно описывающие наблюдаемые процессы. Численные эксперименты на этих моделях позволяют получить представление об условиях в мишени, что невозможно пока в натурном эксперименте. Весьма интересным и перспективным является изучение особенностей воздействия суперкоротких фемтосекундных лазерных импульсов на твердую мишень с целью получения релятивистских пучков электронов, протонов и ионов, рентгеновских и гамма-квантов. На этом пути в перспективе можно построить настольный исследовательский генератор ускоренных частиц для решения научных и технологических задач.

В последнее время интенсивно развивается новое научное направление, возникшее на стыке физики плазмы и аэродинамики, а именно, сверхзвуковая плазменная аэродинамика. В свое время, в конце 70-х — начале 80-х годов, ВНИИЭФ был в числе пионеров этих исследований. Основная идея плазменной аэродинамики заключается в следующем: с целью влияния на характеристики обтекающего газового потока вблизи поверхности летательного аппарата и для улучшения аэродинамических параметров этого аппарата предлагается создавать перед ним или на его несущих поверхностях плазменные образования. Плазму можно получить, используя дистанционный подвод энергии (лазерной, СВЧ) с Земли или применяя бортовые источники. Во ВНИИЭФ создан уникальный лазерный стенд, на котором выполнены пионерские эксперименты по комбинированному воздействию на материалы лазерного излучения и набегающего газового потока. Проведены теоретические исследования по дистанционному подводу лазерной энергии в поток в сверхзвуковой трубе для изменения аэродинамических характеристик моделей летательных аппаратов.

Мощные лазерные установки для исследования физики термоядерной плазмы

В начале 60-х годов XX века вслед за мазером Н. Г. Басова, А. М. Прохорова, Ч. Таунса был создан первый лазер (Т. Х. Майман). Это событие привлекло внимание ученых, в том числе из ведущих ядерных центров мира. Возможность фокусировать лазерное излучение в малые размеры и получать при этом высокую плотность энергии и мощности инициировала волну предложений об использовании лазеров для решения проблемы термоядерного синтеза в лабораторных условиях. Одно из первых предложений исходило от А. Д. Сахарова, который, узнав о появлении первого лазера, предложил на семинаре в теоретическом отделении эллиптическую схему лазерного облучения маленькой оболочки, содержащей термоядерное топливо. В 1968 году С. Б. Кормер, Н. А. Попов и Н. Б. Бабичев впервые рассмотрели схему непрямого облучения, когда лазерное излучение вводится через отверстия внутрь сферического бокса, в центре которого располагается сферическая оболочка, содержащая

дейтерий и тритий. Экспериментальные работы по лазерному термоядерному синтезу (ЛТС) начались в 1972 году по инициативе С. Б. Кормера и Г. А. Кириллова при активной поддержке Ю. Б. Харитона, который придавал большое значение созданию лазерных установок с мощностью излучения в сотни терават. Об этом свидетельствует его высказывание: «... последние десять лет я принимаю участие в работах по лазерному синтезу, в частности, с использованием йодного лазера. Для развития йодных лазеров, которые, по мнению некоторых специалистов, могут оказаться перспективными для управляемого термоядерного синтеза, много сделал скоропостижно скончавшийся прошлым летом в расцвете творческих сил член-корреспондент нашей академии С. Б. Кормер».

В результате активной работы сотрудников института в кооперации со многими учреждениями страны в РФЯЦ-ВНИИЭФ появилось целое семейство мощных моноимпульсных установок «Искра». В 1975 году была создана йодная установка «Искра-3» с выходной мощностью $P \approx 1$ ТВт. На ней проводились эксперименты по определению условий самовозбуждения усилителей при постановке термоядерной мишени в фокальную область фокусирующей системы, а также отрабатывались методики диагностики термоядерной плазмы. В 1979 году начала работу 10-тераваттная одноканальная установка «Искра-4» с энергией лазерного импульса E_L до 2 кДж и длительностью $\tau_L \approx 100-300$ пс, на которой сферическая термоядерная мишень освещалась четырьмя лазерными пучками на длине волны 1,315 мкм. В экспериментах на этой установке получен рекордный для России выход термоядерных нейтронов ~10^8 на мишенях прямого облучения (МПО) и ~$2 \cdot 10^9$ ДД нейтронов на мишенях типа МОК. В мишенях МОК была достигнута температура ионов ДТ 7 кэВ.

В 1989 году была запущена 12-канальная установка «Искра-5» мощностью 120 ТВт, не имеющая аналогов в Европе и Азии (ее по мощности превосходила лишь установка *NOVA* в США). «Искра-5» стала основой экспериментального комплекса, включающего в себя камеру взаимодействия с фокусирующей оптикой и средства диагностики плазмы.

На комплексе в основном проводятся исследования с мишенями непрямого облучения. Направления этих исследований таковы: лазерный термоядерный синтез, взаимодействие лазерного излучения с плотной плазмой, физические процессы в горячей и плотной плазме и магнитосферных бурях. На установке также решаются задачи тестирования программ радиационной газовой динамики, разрабатываемых во ВНИИЭФ.

Основные результаты исследований сводятся к следующему.

Выбрана конструкция сферического бокса-конвертора и отработана система ввода лазерного излучения внутрь бокса. Проведена серия экспериментов с мишенями с обращенной короной. В опытах получена рекордно горячая плазма с температурой ионной компоненты ~ 12 кэВ. Выход ДД нейтронов за импульс достигал значений ~10^{10}.

Для выбранной конструкции бокса проведены исследования преобразования лазерного излучения в рентгеновское. Показано, что эффективная температура рентгеновского излучения, генерируемого в боксе, достигает 170 эВ при высоком уровне его однородности в центральной области бокса. (Неоднородность потока рентгеновского излучения на поверхности мишени диаметром 300 мкм не превышает ~ 3 %.) Доказательством высокого уровня симметрии излучения явились эксперименты со сферическими оболочечными мишенями, помещенными в центр бокса и содержащими ДТ-газ. Зарегистрированы скорость полета оболочки ~ $3 \cdot 10^7$ см/с и температура ионной компоненты ДТ ~ 3 кэВ. Нейтронный выход из таких мишеней не обнаруживал существенных отклонений от расчетных значений, полученных по одномерным программам вплоть до объемных сжатий ~$2 \cdot 10^3$.

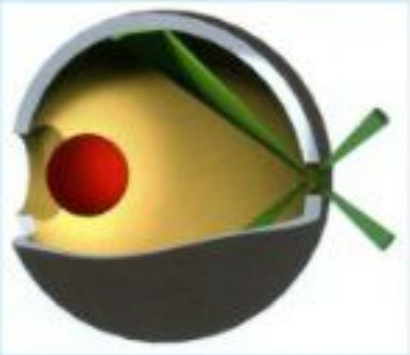
Описать один из экспериментов этого типа можно таким образом. Двенадцать световых пучков с энергией 10000 Дж в импульсе, длительность которого измеряется одной трехмиллиардной долей секунды, вводятся внутрь полости диаметром 2 мм через шесть отверстий диаметром 0,6 мм. Стеклянная оболочка, находящаяся в полости и имеющая диаметр 0,3 мм, схлопывается со скоростью примерно 300 км/с, сжимает ДТ-смесь и нагревает ее до температуры 30 миллионов градусов.

Высокая симметрия поля рентгеновского излучения позволила впервые в мире провести серию экспериментов по исследованию влияния асимметрии на динамику сжатия термоядерных мишеней и генерацию ими нейтронов. Изучено как влияние асимметрии в начальной геометрии мишеней, так и влияние асимметрии потока рентгеновского излучения на поверхности мишени.

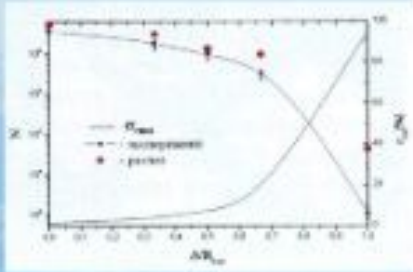
Исследован процесс переноса рентгеновского излучения, генерируемого в боксе-конверторе по цилиндрическим каналам. При этом варьировались как материалы покрытия стенок канала, так и плотность вещества, заполняющего канал. Результаты измерений позволяют проследить влияние движения стенок канала на динамику переноса рентгеновского излучения.

В тонкостенных мишенях с обращенной короной исследованы процессы неравновесного

Рентгеновский фотохронограф РФР-4



а



б

Мишень непрямого облучения для исследования влияния асимметрии поля рентгеновского излучения на динамику ее работы (а) и зависимость нейтронного выхода и степени неоднородности рентгеновского поля на поверхности капсулы от сдвига мишени относительно центра бокса (б)

резонансного излучения горячей, оптически плотной плазмы со средними значениями атомного номера (Al, Fe) при температуре электронов 3 кэВ и плотности $(1-3)\cdot10^{-2}$ г/см^3. Измерения позволяют уточнить кинетические коэффициенты и модернизировать физические модели генерации линейчатого излучения в плазме.

В ходе этих работ были развиты современные методы диагностики плазмы, в частности, базирующиеся на рентгеновских электронно-оптических преобразователях (ЭОП) с временным разрешением ~30 пс.

Для анализа экспериментов потребовались развитие и модернизация одномерных и двумерных программ радиационной газовой динамики. Созданы методы расчета генерации и переноса рентгеновского излучения в лазерной плазме с использованием спектрально-диффузионного приближения, а также метода кинетического уравнения. Эксперименты позволили проверить адекватность и точность физических моделей, разработанных алгоритмов и расчетных программ.

Выполненные работы убедительно демонстрируют эффективность использования лазерных установок для исследования явлений, протекающих в горячей плотной плазме.

Хорошая и стабильная симметрия рентгеновского излучения в сферическом боксе (при отношении диаметров бокса и мишени около 7) дала возможность провести исследования влияния крупномасштабной контролируемой асимметрии на динамику сжатия мишени и нейтронный выход. Асимметрия создавалась нарушением однородности рентгеновского поля на поверхности сферически-симметричной стеклянной капсулы.

Сравнение экспериментальных результатов с результатами газодинамических расчетов сжатия центральных капсул по программе МИМОЗА-НД с параметрами мишени и рентгеновского импульса, соответствующими эксперименту, позволяет констатировать качественное и количественное согласие между экспериментальными и расчетными данными в широком диапазоне изменения асимметрии рентгеновского поля. Наблюдается удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных значений нейтронного выхода во всем исследованном диапазоне сдвигов.

Результаты сравнения показывают, что, несмотря на чрезвычайно широкий диапазон изменения характера газодинамического течения, наблюдается удовлетворительное согласие расчетного и экспериментального значений нейтронного выхода и времени сжатия капсулы с ДТ-газом.

На лазерной установке «Искра-5» проводятся также исследования отдельных процессов, которые в конечном итоге определяют физику работы мишени. При этом перед исследователями ставится задача по совершенствованию диагностических методик с целью повышения их пространственно-временного и спектрального разрешения. С этой целью на установке «Искра-5» развиваются исследования по созданию лабораторного рентгеновского лазера. В 2001 году удалось впервые в России продемонстрировать его работу.

Эксперименты на установке «Искра-5» не только привели к важным результатам, перечисленным выше, но и выявили ограниченность ее возможностей. В частности, при энергии лазерного излучения на уровне 10 кДж детальное исследование режима абляционного сжатия термоядерных мишеней невозможно. Уровень температур квазиравновесного источника рентгеновского излучения 150–170 эВ

позволяет проводить в полном объеме исследования переноса этого излучения в мишенях непрямого облучения. В 1996 году **РФЯЦ-ВНИИЭФ** выступил с предложением о создании лазерной установки нового поколения с энергией, на порядок превышающей энергию установки «Искра-5». Установка получила название «Искра-6».

Под руководством Р. И. Илькаева, Г. А. Кириллова и С. Г. Гаранина был разработан концептуальный проект установки со следующими параметрами: энергия лазерного излучения 300 кДж на длине волны 351 нм, число каналов 128, длительность лазерного импульса 1–3 нс, форма лазерного импульса – профилированная, однородность облучения МПО ≤ (1–3) %.

Установка предназначена для проведения углубленных исследований в широком круге направлений по физике горячей и плотной плазмы, в частности:

– перенос энергии рентгеновским излучением в одномерной, двумерной и трехмерной геометриях;

– спектроскопия горячей плотной плазмы;

– спектральные и росселандовы коэффициенты поглощения рентгеновского излучения равновесной плазмы;

– радиационная газовая динамика несимметричных течений;

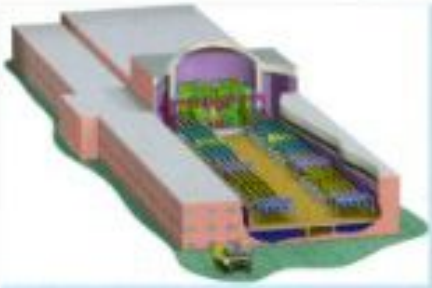
– уравнения состояния веществ в области давлений от 10 до 100 миллионов атмосфер;

– развитие гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания на контактных границах при скоростях движения до 300 км/с;

– динамика сжатия термоядерных мишеней вблизи порога зажигания.

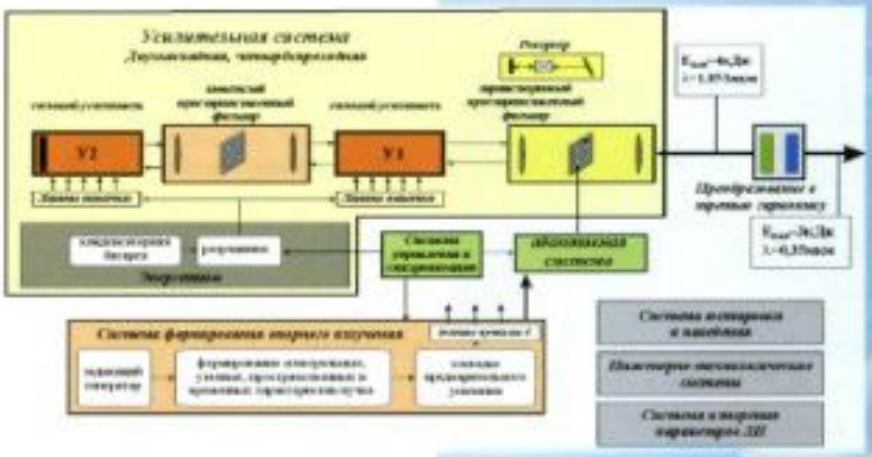
При создании лазера такого класса, как «Искра-6», на первом этапе для проверки и отработки основных научно-технических решений необходимо создать менее масштабную установку, являющуюся прототипом (модулем) основной системы. Базовым модулем установки «Искра-6» является четырехканальная неодимовая установка «Луч», запущенная в **РФЯЦ-ВНИИЭФ** в 2001 году при участии ведущих институтов страны. Для повышения КПД и снижения стоимости лазера используется четырехпроходная схема усиления, в которой импульс четыре раза проходит через активные лазерные элементы (Nd пластины). Тем самым повышается энергосъем запасенной в них энергии. Кроме того, четыре лазерных канала объединены в блоки (2 × 2) с единой системой накачки на основе ксеноновых ламп. Схема усиления включает в себя два силовых усилителя, в каждом из которых располагается девять неодимовых пластин. В поперечном сечении лазерный пучок представляет собой квадрат размером 20 × 20 см.

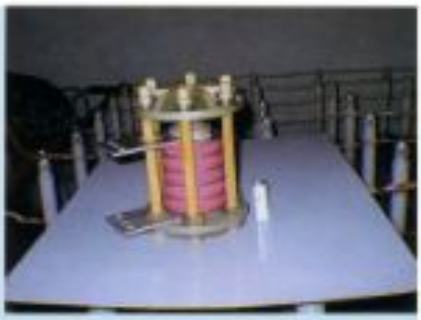
Ключевым вопросом при создании таких установок является проблема лучевой прочности оптических элементов и в особенности активных неодимовых пластин. Результаты экспериментов показали, что в настоящее время лучевая прочность



Мощная неодимовая лазерная установка «Искра-6»

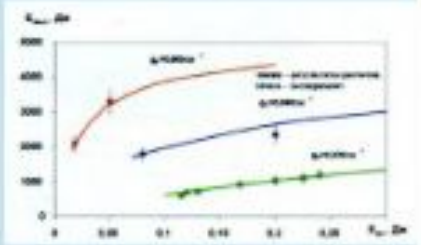
Структурная схема канала установки «Луч»



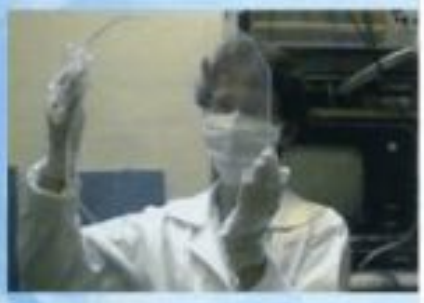


Полупроводниковый коммутатор КРД-1

Оптический зал установки «Луч»



Зависимость энергии излучения на выходе установки «Луч» от входной энергии при различных значениях коэффициента линейного усиления



Образец кристалла DKDP размером 330 × 320 × 20 мм

всех оптических элементов российского производства на основной частоте примерно в 1,5–3 раза превышает среднюю лучевую нагрузку, реализующуюся при работе лазера. Такой запас по лучевой прочности позволяет говорить о возможности работы лазерных каналов с ресурсом в несколько тысяч выстрелов.

Система энергопитания (конденсаторная батарея) установки с энергоемкостью примерно 5 МДж построена на новой элементной базе. В частности, в качестве коммутаторов впервые были использованы полупроводниковые разрядники, технология создания которых разработана в С.-Петербургском физико-техническом институте им. Иоффе. Разрядники позволяют коммутировать токи до 300 кА и заряд ~40 Кл.

Установка «Луч» располагается в специальном здании, в помещении площадью ~600 м^2 и уровнем чистоты 300 пылинок в кубическом футе. Внутри имеются сверхчистые боксы для силовых усилителей и оптики с уровнем чистоты три пылинки в кубическом футе.

Проведены эксперименты по исследованию усиления импульса излучения длительностью $\tau_{0,5}$ = 4 нс в штатном режиме.

Выходная энергия канала составила ≈3,5 кДж при коэффициенте усиления слабого сигнала g = 0,045 см$^{-1}$, что близко к расчетно ожидаемой в условиях экспериментов.

Работы по созданию установки «Луч» и исследованию усиления лазерного излучения позволили подтвердить основные научно-технические решения, закладываемые в схему установки «Искра-6». В настоящее время завершен эскизный и технический проекты установки и проводится подготовка производства ее основных элементов.

В последние годы наблюдается стремительный прогресс в разработке и создании твердотельных лазерных систем с импульсами фемтосекундной длительности (1 фс = 10^{-15} с) субпетаваттной и петаваттной мощности. С вводом в строй установки «Луч» открывается уникальная возможность получения на базе канала этой установки сверхмощных лазерных импульсов.

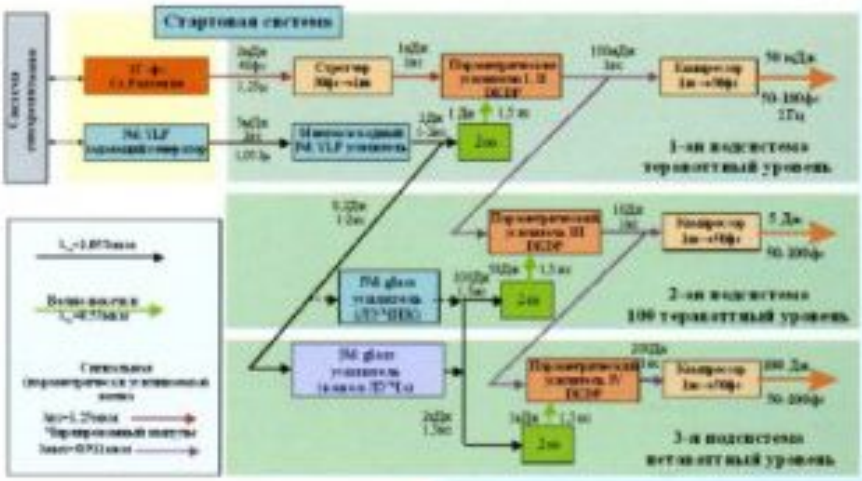
Известно, что длительность импульса излучения достаточно мощных установок определяется спектральной шириной полосы усиления в неодимовом стекле, а энергия — размерами и лучевой прочностью дифракционных решеток компрессора. Преодолеть этот предел и соответственно получить такую же мощность при существенно меньшей выходной энергии можно в схеме усиления чирпированного импульса в параметрических широкополосных ($\Delta\lambda$ ≈ 200 нм) усилителях вместо обычных лазерных ($\Delta\lambda$ ≈ 30 нм). Работы в этом направлении ВНИИЭФ проводит совместно с Институтом прикладной физики РАН. В этой схеме наряду с традиционными для генерации сверхсильных полей принципами временного растяжения и компрессии усиленных импульсов используется принцип многокаскадного параметрического усиления в широкоапертурных (∅ ≈ ≈ 300 мм) кристаллах DKDP.

Программа создания такой установки предусматривает поэтапное наращивание ее мощности.

К настоящему времени создана стартовая система с выходной мощностью до 1 ТВт. Проведены исследования физики и техники параметрического усиления. Отработаны основные элементы создаваемой системы, включая стретчер, компрессор на большеапертурных дифракционных решетках и параметрические усилители на основе кристаллов DKDP.

В экспериментах на выходе установки получена энергия около 10 Дж при длительности скомпрессированного импульса 45 фс, что соответствует мощности лазерного излучения около 200 ТВт.

Дальнейшее повышение уровня мощности лазерного излучения до 1 ПВт и выше будет проведено путем добавления следующего каскада параметрического усиления с диаметром силовой апертуры 200 мм, накачка которого будет осуществляться преобразованным во вторую гармонику ($E_{2\omega} \approx$ $\approx$ 2 кДж) излучением одного канала установки «Луч» и последующей компрессией усиленного чирпированного импульса. Скомпрессированное излучение будет направляться в камеру взаимодействия установки «Луч» и фокусироваться на мишень внеосевым параболическим зеркалом. Ожидаемая интенсивность облучения мишени должна быть не менее 10^{20} Вт/см^2.



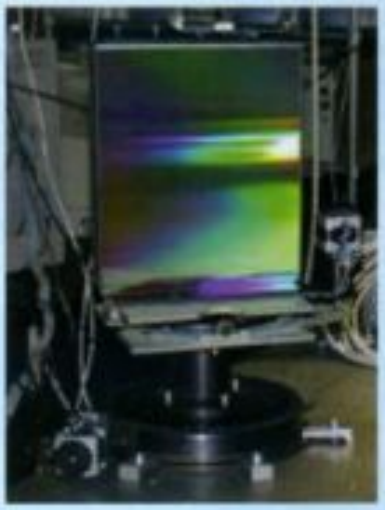
Блок-схема петаваттной лазерной системы, создаваемой на базе канала установки «Луч»

Полномасштабный пуск системы с уровнем мощности 1 ПВт запланирован на 2006 год.

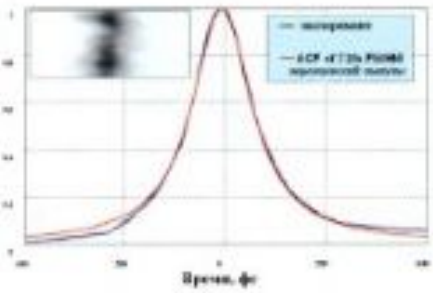
* * *

Лазерная стендовая база, созданная в институте лазерно-физических исследований РФЯЦ-ВНИИЭФ, уникальна. Она является достоянием научного сообщества России. На лазерных установках получен целый ряд результатов мирового уровня. Специалисты ИЛФИ в кооперации с коллегами различных научных институтов провели широкий круг исследований по проблемам физики высоких плотностей энергии.

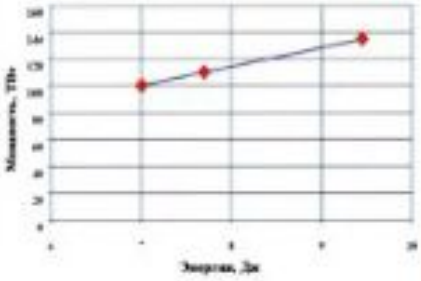
Ученые лазерного института активно участвуют в воспитании нового поколения ученых и специалистов. ИЛФИ является базовым институтом для двух кафедр в высших учебных заведениях: кафедры квантовой электроники Саровского физико-технического института и кафедры проблем инерциального термоядерного синтеза МФТИ.



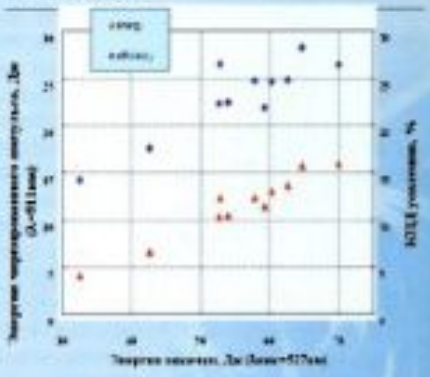
Дифракционная решетка компрессора



а



б



в

Результаты экспериментов по отработке 100-тераваттной системы: а – экспериментальная зависимость энергии параметрически усиленного чирпированного импульса и КПД усиления от энергии накачки ($E_{вх}$ = 1 нДж, $E_{накач}$ = = 15 Дж); б – автокорреляционная функция излучения на выходе компрессора. Соответствует длительности импульса $t_{изм}$ ≈ 70 фс; в – мощность лазерного излучения на выходе компрессора

t = 0 мкс
t = 31,75 мкс

Электрофизические исследования

(работы электрофизического отделения и Научно-технического центра физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений)

Немного истории

Электрофизическими исследованиями во ВНИИЭФ традиционно занимаются сотрудники электрофизического отделения 38 и специалисты Научно-технического центра физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучения (НТЦФ).

Отделение 38 было образовано 1 марта 1989 года на базе отдела 06 (ранее 22) отделения 03 (ныне Институт физики взрыва). История становления электрофизического отделения и развитие основных научных направлений неразрывно связано с именем доктора физико-математических наук Владимира Константиновича Чернышева – создателя и руководителя отделения.

В. К. Чернышев

С 1950 года основными направлениями работ отдела 22 являлись:

– разработка и внедрение в производство фокусирующих систем для специальных изделий;

– разработка физических основ электрического инициирования бризантных ВВ и создание безопасного детонатора на этой базе;

– разработка электрических систем инициирования безопасных детонаторов в больших группах в синхронном режиме;

– быстрый вывод электрической энергии из взрывомагнитного генератора (ВМГ) во внешнюю нагрузку;

– исследование эффекта магнитной кумуляции. За эту работу Е. И. Жаринов, Р. З. Людаев, Ю. Н. Плюшев и другие награждены Ленинской премией (1971 г.);

– создание сверхмощных взрывомагнитных источников нейтронов (совместно с ИЯРФ). Эта работа отмечена Государственной премией, среди награжденных В. К. Чернышев, Г. И. Волков, Н. Г. Макеев, А. Е. Телегин и другие (1980 г.);

– создание новых сверхмощных источников энергии на базе спиральных и дисковых ВМГ для проведения научных исследований. За создание сверхмощных ВМГ и их применение в научных исследованиях в 1998 году сотрудникам отделения 38, НТЦ-1 и отдела 5200 (В. В. Вахрушеву, Б. Е. Гриневичу, А. М. Буйко, Б. А. Бойко, В. А. Демидову, А. И. Кузяеву, В. Н. Мохову, А. А. Петрухину, П. Н. Пискареву, В. А. Шевцову, В. К. Чернышеву, В. Б. Якубову) была присуждена премия Правительства РФ;

– разработка концепции МАГО и экспериментальное подтверждение предварительного подогрева плазмы;

– исследование физики лайнерных систем при высоких плотностях энергии.

Эти направления сохранились и развивались в отделении 38. Созданная в отделении экспериментальная база и высокий творческий потенциал его ведущих сотрудников позволили осуществить научно-технический прорыв в трех новых областях физики – создании новых источников энергии, исследовании замагниченной плазмы и физики высоких плотностей энергии, что привлекло внимание передовых научных лабораторий мира.

И совершенно не случайно международное сотрудничество ВНИИЭФ началось с совместных работ специалистов отделения 38 и Лос-Аламосской лаборатории. Вспомним то время. Осенью 1993 года во ВНИИЭФ состоялся первый совместный российско-американский эксперимент с использованием ВМГ, которые были разработаны в отделении 38 на основе идей, высказанных А. Д. Сахаровым. В 2001 году В. К. Чернышев, лауреат Ленинской и Государственной премий, сказал о прошедшем десятилетии: «Тогда, когда это начиналось, я бы не поверил, что мы проведем столько экспериментов».

Но сотрудничество ученых развивалось именно так. В рамках проекта было проведено более 20 интереснейших опытов, многие из которых уникальны. Они выполнялись на российском и американском оборудовании во ВНИИЭФ и ЛАНЛ. Участниками проекта опубликовано свыше двухсот научных работ, сделано множество докладов на престижных международных конференциях, опубликованы статьи в научных журналах. Эта работа подтвердила высокий уровень исследований, выполняемых во ВНИИЭФ. В. К. Чернышеву была присуждена престижная американская премия Эдвина Маркса.

Ученые отделения проводили и ведут совместные исследования с лабораториями ЛАНЛ, Phillips, Sandia (США), CEA/DAM (Франция), Кореи. В возможной перспективе – сотрудничество с КАИФ (Китай), Швецией и Индией.

В отделении успешно развивается конверсионная деятельность: разработка и производство взрывных перфораторов для нефтяной промышленности, создается новое поколение выключателей элегазовой изоляции. Выполняются исследования методов повышения отдачи газа в интересах Газпрома, разрабатывается взрывной труборез. Для нефтегазовой отрасли разрабатываются пиротехнический генератор давления, безопасный термостойкий электродетонатор.

С 2003 года отделение возглавляет Андрей Владимирович Ивановский. В настоящее время основными направлениями работ являются дальнейшее повышение безопасности и надежности специзделий, физическое моделирование процессов, исследование динамических свойств веществ при высоких плотностях энергии.

Научный профиль НТЦФ – импульсная электрофизика. История центра восходит к 1952 году, когда лаборатория известного физика Г. Н. Флерова была поделена на две, с номерами 28 и 29. Начальником лаборатории 28 стал доктор физико-математических наук Ю. А. Зысин, основной тематикой – определение ядерно-физических констант, необходимых для создания термоядерного оружия.

В 1952 году молодой специалист, будущий академик А. И. Павловский приступает к разработке нейтронного генератора, что и было началом электрофизического направления исследований. Уже через два года за выдающиеся характеристики этих генераторов и их успешное применение А. И. Павловский получает Сталинскую премию.

С 1954 года группа А. И. Павловского (Г. В. Склизков, Г. Д. Кулешов) начинает разработку оригинальных безжелезных импульсных бетатронов, через десять лет эта работа удостаивается Ленинской премии. Еще более усиливается электрофизическое направление с переходом в лабораторию (1957 г.) группы Р. З. Людаева, известной своими исследованиями в области взрывных магнитокумулятивных генераторов сверхсильных магнитных полей и сверхсильных токов.

В 1960 году лабораторию 28 возглавил А. И. Павловский, в 1964 году она была преобразована в отдел 28 сектора 04 (с 1970 г. – отдел 03). Тематика отдела стала полностью электрофизической. Его сотрудники разрабатывали и создавали сильноточные импульсные линейные ускорители электронов

(ЛИУ), магнитокумулятивные энергетические генераторы, мощные импульсные лазеры. Основные разработчики ЛИУ – лаборатория В. С. Босамыкина – в 1986 году выделились в самостоятельный отдел сектора 04.

В 1986 году в отделе 03 была организована лаборатория В. Д. Селемира по исследованиям в области сильноточной СВЧ-электроники. Первый в мире успешный эксперимент по преобразованию энергии магнитокумулятивного генератора в СВЧ-излучение был проведен в 1989 году.

В 1993 году после кончины академика А. И. Павловского начальником отдела был избран В. Д. Селемир. 10 ноября 1995 года отдел был преобразован в научно-технический центр физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучения (НТЦ-1) и стал самостоятельным подразделением ВНИИЭФ.

В девяностые годы магнитокумулятивный генератор МК-1 стал широко использоваться для проведения физических экспериментов с участием многих научных организаций России и других стран. Сотрудниками НТЦ-1 была проведена серия опытов в Лос-Аламосе, после чего американцы организовали проведение нескольких экспериментальных серий «Дирак», где НТЦ-1 представлял свой генератор МК-1. Кроме сотрудников ЛАНЛ, в экспериментах участвовали и другие американские ученые, а также специалисты из Японии и Австралии. По инициативе В. Д. Селемира аналогичные экспериментальные серии «Капица» с участием российских и зарубежных ученых регулярно проводились во ВНИИЭФ, начиная с 1997 года.

Генератор МК-1 был усовершенствован. С помощью его крупномасштабной модели достигнуто магнитное поле 28 МГс. За разработку этих генераторов в 1999 году Государственной премией РФ в области науки были отмечены А. И. Быков, М. И. Долотенко, Н. П. Колокольчиков, О. М. Таценко, В. В. Платонов, М. М. Харламов, Г. В. Карпиков и А. И. Павловский (посмертно).

Продолжались разработки более совершенных конструкций безжелезных бетатронов для рентгенографии. Исследовались различные импульсно-периодические лазеры с перспективой их использования в промышленности и для военных целей.

Под руководством В. Д. Селемира развернулись работы по созданию крупномасштабной установки «Эмир» для моделирования термоядерных процессов. Для этой установки разработано новое поколение быстроходных магнитокумулятивных генераторов энергии.

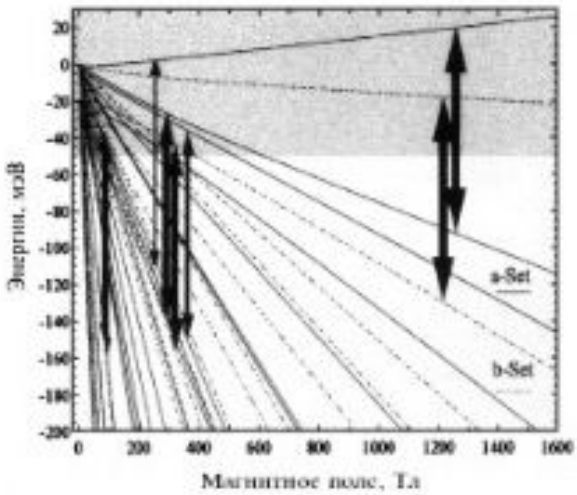
В начале нового тысячелетия в НТЦ-1 были разработаны установки для моделирования электромагнитного импульса молнии с током ~100 кА (на основе магнитокумулятивных генераторов) и для генерации СВЧ-излучения. Последние по своим характеристикам превысили мировой уровень. За исследования по созданию базовых технологий СВЧ-техники премия Правительства РФ в 1999 году была присуждена В. Д. Селемиру, И. В. Коновалову, В. Г. Суворову.

НТЦ-1 (с 2005 г. – НТЦФ) поддерживает широкие международные научные связи, принимает активное участие в организации и проведении международных конференций по генерированию сильных магнитных полей.

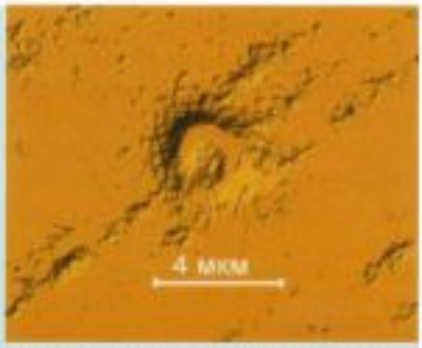
Физические исследования в сверхсильных магнитных полях

За последние полтора десятка лет взрывной генератор сверхсильных импульсных магнитных полей МК-1 стал привычным лабораторным инструментом. Магнитные поля напряженностью ~10 МГс теперь доступны для физических исследований. Их проведение потребовало создания различных диагностик: оптической, магнитооптической, спектрально-временной, СВЧ, ВЧ, компенсационной. Разработаны также методики с охлаждением образца до криогенных температур. В опытах принимали участие многие российские и зарубежные лаборатории. Исследования были направлены в основном на решение проблем физики твердого тела.

Прежде всего изучалось поведение различных веществ в магнитном поле. Обнаружены новые циклотронные резонансы на длине волны 10,6 мкм в полупроводниках нитриде и арсениде галлия.



Новые циклотронные резонансы на длине волны 10,6 мкм в полупроводниках GaN



Автограф одиночного микроканала на измерительной электродной площадке

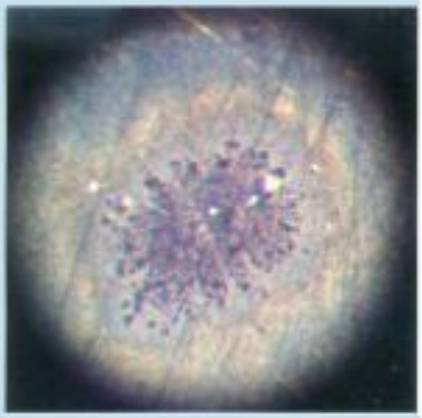
Исследования циклотронных резонансов в этих и им подобных полупроводниках позволили определить их фундаментальные характеристики: эффективную массу и подвижность носителей. Поскольку такие соединения могут быть использованы при разработке квантового компьютера, то эта информация может иметь и прикладное значение.

Исследованы также различные магнитно-фазовые переходы при гелиевой температуре.

Импульсы давления с амплитудой несколько мегабар, созданные магнитным полем генератора, применялись для изучения сжимаемости замороженного аргона и других благородных газов, а также водорода и дейтерия.

Исследования по физике газового разряда и плазмы

С различными проблемами физики и техники газового разряда ВНИИЭФ связан постоянно. Круг приложений в этой области исследований непрерывно расширяется. Возрастание и качественные изменения средств диагностики физических процессов позволяют глубже понимать известные явления, предсказывать и открывать новые эффекты.

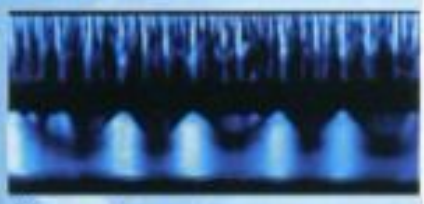


Автограф искрового канала на электроде из висмута. Диаметр пятна цвета побежалости 0,1 мм

Исследования пространственной структуры высоковольтных разрядов. Во ВНИИЭФ выполнен цикл исследований физических свойств высоковольтных газовых разрядов атмосферного давления: искрового, барьерного, стримерного. Обнаружена ранее неизвестная поперечная структура таких разрядов. До этого предполагалось, что разряды состоят из каналов, диаметр которых не менее 0,1–0,3 мм. При изучении разряда с помещенным между электродами диэлектрическим барьером (барьерный разряд) оказалось, что каждый такой канал состоит из многих микроканалов диаметром 1–10 мкм. Большой удачей экспериментаторов является измерение количественных характеристик единичного микроканала. Плотность тока в микроканале составила ~10^7 А/см^2, что существенно превышает зарегистрированные ранее значения.

Тонкая структура обнаружена и в диффузионных, и в искровых разрядах. Обнаружено, что канал искры диаметром 0,1–0,4 мм представляет собой совокупность сотен микроканалов диаметром 5–10 мкм, почти равномерно распределенных по сечению искры. Плотность тока в микроканалах также равняется ~10^7 А/см^2.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что установленная в опытах микроструктура является результатом развития неустойчивостей на фронте каналов. Эти неустойчивости распространяются в режиме сильной стримерной волны ионизации, когда толщина заряженного слоя поверхности становится много меньше радиуса кривизны головки канала. Обнаруженные явления меняют представления о «геометрических» параметрах токовых каналов и физических свойствах высоковольтных разрядов наносекундного диапазона.



Фотография пучков высокоэнергетичных электронов, сформированных в высоковольтном диффузном разряде в воздухе

Высоковольтный диффузный разряд в режиме генерации пучков высокоэнергетичных электронов. Выполнен цикл исследований сильноточного (до 12 кА) высоковольтного (до 800 кВ) диффузного наносекундного (50–200 нс) разряда в электродных системах типа проволочка-сетка-плоскость в больших объемах (до 0,3 м^3) плотных газов.

Впервые обнаружена тонкая структура токовых диффузных каналов. Обнаружен и исследован эффект генерации пучков высокоэнергетичных (до 150 кэВ) электронов и сопутствующего мягкого (до

18 кэВ) рентгеновского излучения при напряженности электрического поля существенно меньшей, чем это необходимо для убегания электронов в газе атмосферного давления.

Установлено, что источниками пучков электронов являются токовые каналы, обладающие микроструктурой. В микроканалах из-за теплового расширения плотность понижена, поэтому и создаются условия для убегания электронов.

Показана высокая эффективность разряда в режиме генерации рентгеновского излучения для ионизации плотных газов, реализованы высокие (до 10^{13} см$^{-3}$) плотности ионизации газовых сред атмосферного давления.

Исследование границы раздела электролит-плазма в тлеющем разряде. Для решения проблем плазмохимии проводились исследования состояния границы между жидким электролитом и плазмой тлеющего разряда постоянного тока и пониженного давления.

В экспериментах с вертикально расположенной газоразрядной трубкой часть объема заполнялась жидким электролитом, в оставшемся объеме давление воздуха составляло ~40–60 торр. На границе раздела между электролитом и плазмой происходит смена носителей тока. Это сложный кинетический процесс. Кроме него, на состояние поверхности раздела влияют и интенсивные акустические колебания, возбуждаемые током в электролите.

Впервые удалось зарегистрировать тлеющие разряды над поверхностью электролита, различные по динамике формы границы и возникающие при увеличении тока разряда от 50 до 150 мА.

Формирование протяженных и пространственно локализованных плазменных образований. Для решения задач плазменной электроники необходимо создание плазменного канала с концентрацией электронов ~10^{-12} см$^{-3}$ и давлением рабочего газа не более 0,01 торр. В этом случае предпочтительно использование тлеющего разряда, но для его стабильного функционирования давление газа должно быть не менее 0,1 торр. Поэтому было предложено использовать внешнюю инжекцию электронов в разрядный промежуток.

Испытана газоразрядная камера, в которой в качестве источника электронов используется плазменный эмиттер на основе сегнетокерамики типа титаната бария. Это позволило сформировать стабильный сильноточный (~300 А) низковольтный (2,5 кВ) импульсный тлеющий разряд в воздухе при давлении 0,01 торр, что позволило создать плазменный столб длиной 3 м с регулируемой концентрацией электронов (от 10^{10} до 10^{12} см$^{-3}$) с частотой следования импульсов 50 Гц.

При проведении некоторых исследований требуется формирование пространственно локализованных плазменных образований. Стационарные плазменные образования формировались с помощью высокочастотного индуктивного разряда. Форма этих образований схожа с формой самого индуктора. В индукторах, которые представляют собой каркасы выпуклых многогранников, плазменные образования имеют сферическую форму.

Исследование запыленной плазмы. В последнее время в физике плазмы развивается новое направление – физика запыленной плазмы (плазмы, в которой взвешены мелкие частицы или капельки конденсированного вещества). Малая добавка пыли существенно изменяет коллективные свойства самой плазмы. Часто пылевая фракция оказывает вредное воздействие на работу некоторых устройств: магнитных ловушек термоядерных реакторов, установок плазменного травления микросхем и других.

а

б

в

г

Формы горения тлеющего разряда над поверхностью раствора медного купороса: а – гладкая поверхность, б – возмущение поверхности в виде уединенной волны; в – регулярная поверхностная рябь; г – бурлящая вспененная зона турбулентного перемешивания

а

б

Фотографии разрядов. Формы индукторов: а – плоская спираль Архимеда; б – кубооктаэдр

Известно, что при определенных условиях в запыленной плазме микрочастицы пыли формируются в упорядоченные структуры (так называемые плазменно-пылевые кристаллы). Следовательно, кроме сил отталкивания, должны существовать и силы притяжения между микрочастицами пыли, удерживающие такой кристалл от распада. В литературе рассмотрено несколько возможных сил притяжения, различных по своему проявлению.

Во ВНИИЭФ впервые экспериментально продемонстрировано существование силы притяжения одноименно заряженных объектов в плазме тлеющего разряда, возникающей при определенной плотности тока разряда. В последние годы во ВНИИЭФ проводились исследования динамики накопления электрического заряда пылевой микрочастицей в максвелловской плазме; исследовались рассеяние микрочастиц пыли коллективными колебаниями плазмы; инжекция пылевых струй в плазму; управляемое ориентирование волокон в плазме тлеющего разряда; различные механико-кинетические эффекты в слабоионизованной плазме низкого давления. Все это полезно для установления закономерностей движения пылевой фракции в плазме, а также для определения способов управления этим движением.

Разработка импульсных безжелезных бетатронов для импульсной радиографии

Сильноточные безжелезные бетатроны, впервые созданные во ВНИИЭФ, продолжают разрабатываться в НТЦФ. Они используются в качестве источников жесткого тормозного излучения для рентгенографии быстропротекающих процессов в газодинамических испытаниях, при исследованиях в области физики взрыва и высоких плотностей энергии.

Ускоритель БИМ-1500

Последняя из разработок, бетатрон типа БИМ 234.3000, является базовым ускорителем в создаваемом в настоящее время рентгенографическом комплексе РГК-Б. Этот ускоритель позволяет получать три импульса излучения в одном ускорительном цикле с регулируемой относительной интенсивностью и временными интервалами, т. е. он дает возможность получать три кадра в одном взрывном опыте. Характеристики этого ускорителя: энергия ускоренных электронов – 55 МэВ, энергия инжектируемых электронов ~2 МэВ, ток электронов на орбите – 170–200 А, экспозиционная доза в импульсе – 60 Р/м. В комплексе РГК-Б предусматривается использование трех таких ускорителей, что позволит получать изображения с трех ракурсов, всего 9 кадров. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию ускорителя: увеличению дозы, сокращению размеров фокусного пятна, длительности импульса излучения, увеличению количества импульсов в цикле ускорения.

Разрабатываются два новых типа ускорителя: компактный бетатрон БИМ-1500 и сильноточный вариант – цилиндрический бетатрон. Ускоритель будет давать 3–6 лучей, распределенных в пространстве, на каждом луче возможна регистрация до четырех кадров в одном опыте. Доза на луче – до 50 Р/м, тормозное излучение электронов с энергией 60 МэВ, размеры излучающего фокусного пятна 1 × 2 мм или 0,5 × 2 мм. Длительность импульса излучения – до 100 нс в серии и до 50 нс в моноимпульсе. При использовании рентгеновской пленки ускоритель позволяет просвечивать не менее

120 мм свинца с пространственным разрешением не ниже двух линий на миллиметр.

Ускоритель БИМ-1500 предполагается использовать в составе передвижной установки, включающей и взрывную камеру. Разрабатывается вариант рентгенографического комплекса, использующего 6–8 таких ускорителей для квазитомографической съемки. Цилиндрический бетатрон позволит на порядок увеличить интенсивность излучения и обеспечить просвечивание до 300 г/см^2 урана.

Для решения ряда газодинамических задач, требующих более мягкого спектра тормозного излучения, разрабатываются многолучевые мобильные рентгеновские импульсные аппараты. Диапазон граничных энергий квантов 0,3–1 МэВ, длительность импульса излучения 40–70 нс, просвечивающая способность 30–50 мм стали.

Ученые семи стран, участвующие в первой серии экспериментов «Дирак», у генератора МК-1 с американским криостатом, замораживающим образцы до ~2 К, на взрывном полигоне ЛАНЛ в Лос-Аламосе

Развитие техники взрывных магнитокумулятивных генераторов сверхсильных импульсных магнитных полей

Работы по взрывным магнитокумулятивным генераторам, начатые в начале 50-х годов по инициативе академика А. Д. Сахарова, ведутся по двум направлениям: генераторы сверхсильных магнитных полей и генераторы мощных импульсов электрической энергии.

Во ВНИИЭФ разработан и серийно изготавливается каскадный генератор МК-1 с начальным диаметром рабочей полости 139 мм, длиной 300 мм, с зарядом ВВ 16 кг, использующий начальный ток до 3 МА, создающий начальное магнитное поле до 250 кГс. Такой генератор в промежуток времени всего 1–2 мкс создает в рабочей полости диаметром в несколько миллиметров магнитное поле напряженностью более 10 МГс. Но и за такое короткое время удается провести физические эксперименты по изучению поведения различных веществ в магнитном поле, а также по созданию в исследуемых образцах изэнтропического давления в десятки мегабар. Относительно большие объемы допускают исследование одновременно нескольких образцов, в том числе и при криогенных температурах (от 77 до 4,2 К).

Выполнено более 700 опытов с таким генератором. Некоторые из них проводились с участием ряда институтов РАН и российских вузов, с участием американских, немецких, японских ученых.

С целью увеличения амплитуды конечного магнитного поля были опробованы новые варианты композитных материалов каскадов генератора – промежуточных лайнеров с вдвое большей начальной плотностью. В совместных экспериментах с Лос-Аламосской национальной лабораторией (США) была показана возможность некоторого увеличения поля за счет применения более мощных ВВ. Обычно для возбуждения начального магнитного поля в генераторе используется мегаджоульная конденсаторная батарея, имеющая большие габариты. Показана возможность ее замены спиральным магнитокумулятивным генератором энергии типа ВМГ-160 с диаметром спирали 160 мм и длиной 900 мм. В этом случае опыты с генератором МК-1 можно проводить при наличии конденсаторной батареи с энергией всего около 10 кДж.

Разработана также конструкция генератора МК-1 с увеличенными вдвое размерами (начальный диаметр рабочей полости ~300 мм) и зарядом ВВ ~170 кг. Запитывается такой генератор током 4–5 МА от спирального магнитокумулятивного генератора С-320. В рабочей по-

Генератор МК-1 с увеличенными размерами. Спиральный МКГ типа С-320 используется для создания начального магнитного поля

лости диаметром ~4 мм зарегистрированы поля, превышающие 20 МГс, в одном опыте амплитуда поля составила ~28 МГс.

В настоящее время в мире нет других исследовательских институтов, обладающих такой техникой создания сверхсильных магнитных полей.

Магнитокумулятивные генераторы — источники мощных импульсов энергии

Магнитокумулятивные генераторы — МКГ (другое название — взрывомагнитные генераторы, ВМГ) разрабатываются во ВНИИЭФ с начала 50-х годов. Они используются как мощное средство энергетического питания физического эксперимента.

Разработано много разновидностей и моделей МКГ. Такое обилие объясняется разнообразием требований, диктуемых различными потребителями энергии. Выходная энергия МКГ увеличивается с увеличением их размеров. Условно МКГ можно разделить в соответствии с диаметром на малогабаритные (менее 50—60 мм), среднегабаритные (от 60 до 300—350 мм) и крупногабаритные (более 350 мм). Эти группы отличаются как по характеру их главных параметров, так и по принципам конструирования. В отдельную группу можно выделить так называемые быстроходные МКГ — с коротким временем работы и повышенной выходной пиковой мощностью.

Для формирования токового импульса в нагрузке и ее электротехнического согласования с параметрами генератора МКГ используются в сочетании с сильноточными коммутаторами (замыкающими и размыкающими), а также с повышающими трансформаторами.

Обычно при разработке МКГ рассматриваются и его возможные применения. Существующие расчетные программы облегчают создание (в некотором приближении) оптимальной конструкции МКГ. Однако они не позволяют определить режимы работы генератора, предельные по внутреннему магнитному полю (обычно не более 0,6—0,7 МГс), электрической прочности и допустимым смещениям проводников под действием магнитных сил. Только экспериментальное исследование позволяет внести необходимые коррективы и определить стабильный режим работы МКГ с максимально высокими выходными характеристиками.

Малогабаритные генераторы. Малогабаритные МКГ (выходная энергия — до 100 кДж) в сочетании с источниками начальной энергии (взрывными ферромагнитными или пьезоэлектрическими либо малогабаритными конденсаторами с зарядкой от аккумуляторов) используются и сами по себе. Однако основной областью применения их и составленных из них каскадных систем является питание начальной энергией более крупных МКГ. Конструкция малогабаритных МКГ сильно зависит от цели применения. В качестве примера новых разработок малогабаритных МКГ приведем два автономных генератора, которые в течение многих лет могут находиться в состоянии полной готовности к работе, необходимо только подорвать в нужный момент детонатор для инициирования заряда ВВ.

Среднегабаритные МКГ. Для среднегабаритных МКГ (диапазон энергий от 0,1 до 15—20 МДж) определяющими являются и выходная энергия, и коэффициент усиления энергии. Их конструкция сильно отличается от малогабаритных. Во ВНИИЭФ разработано целое семейство эффективных быстроходных спиральных генераторов (генераторы серии «Поток» и аналогичные им).

Крупногабаритные генераторы. Крупногабаритные МКГ, дающие импульсы энергии в десятки мегаджоулей, требуют новых идей и нетрадиционных подходов. Кроме выходной энергии, на первый план здесь выдвигается и величина КПД, поскольку масса заряда ВВ в них составляет десятки и сотни килограммов. Часто возможность сокращения массы ВВ определяет и возможность применения самого МКГ.

При увеличении размеров МКГ и сохранении напряженности внутреннего магнитного поля на уровне 0,6—0,7 МГс обостряются проблемы с его электропрочностью и механической прочностью.

При снижении магнитного поля возможно создание крупных спиральных МКГ. Проведены оценки параметров МКГ с внутренним диаметром спирали 1 м. Генератор состоит из четырех отдельных блоков длиной 1 м каждый, электрически соединенных последовательно и работающих поочередно. При начальной энергии 1,5 МДж в нагрузке ~0,6 мкГн может быть получена энергия ~150—160 МДж. При этом внутреннее магнитное поле МКГ не превысит ~0,3—0,4 МГс. При традиционном подходе к конструкции такого МКГ масса заряда ВВ составила бы ~1,5 т. Благодаря уменьшению магнитного поля есть возможность сократить ее до ~400 кг.

Быстроходные МКГ. МКГ с коротким временем работы и повышенной пиковой мощностью имеют небольшой коэффициент усиления энергии и используются обычно совместно со спиральными МКГ.

В генераторе ДВМГ-240-3М в качестве предусилителя энергии использован спиральный генератор ВМГ-120, который при начальной энергии

360 кДж обеспечивал в дисковом МКГ начальный ток 5,2 МА. Начальная индуктивность ДВМГ – 27 нГн, конечная – 1,5 нГн. Время работы ДМВГ 15–19 мкс, максимальный ток 60 МА, выходная энергия ~2,7 МДж (коэффициент усиления энергии ~7), пиковая мощность ~2 ТВт. По удельным характеристикам этот генератор в 1,5 раза превосходит известные дисковые генераторы.

В дисковом МКГ все дисковые заряды инициируются из центра одновременно. С увеличением их количества возрастает выходная энергия, а время работы МКГ не меняется. При увеличении количества дисковых элементов до 10 генератор ДВМГ-240 на нагрузке ~5 нГн обеспечивает энергию ~10 МДж. Разработан аналогичный генератор с вдвое бо́льшим диаметром дисков (ДВМГ-480), реализующий максимальный ток до 160 МА.

Во ВНИИЭФ разработано несколько вариантов дискового МКГ с диаметром дисков 400 мм, имеющих от 5 до 25 дисков. На нагрузке ~10 нГн получен ток ~100 МА, а на нагрузке 3 нГн ~270 МА, коэффициент усиления энергии – 10–15. При использовании встроенного токового размыкателя в нагрузке получен ток 30–35 МА с временем нарастания ~2 мкс. С увеличением диаметра возрастает выходной ток и энергия МКГ, но увеличивается и время его работы.

Другой класс быстроходных МКГ – коаксиальные и спиральные генераторы с одновременным инициированием заряда ВВ по его оси.

Быстроходный витковый МКГ выполняется в виде широкого витка, имеющего разрез по образующей. К обеим сторонам разреза присоединяется нагрузка. Внутренняя труба заполнена ВВ, инициируемым одновременно по оси. Витковые МКГ генерируют ток 15–45 МА с характерным временем нарастания 5–8 мкс.

Витковый МКГ одной из ранних конструкций имеет внутренний диаметр витка 250 мм, на нагрузке 5–8 нГн им создается ток более 15 МА. Витковые МКГ удобно соединяются (последовательно или параллельно) в многомодульные системы.

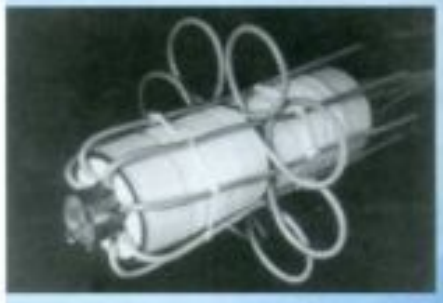
Автономные МКГ. Спиральный генератор типа ВМГ-50 имеет магнитную систему из оксидо-бариевых магнитов, расположенную над спиралью МКГ с внутренним диаметром спирали 50 мм. Поперечные размеры магнитной системы – 100 × 100 мм. Длина всего устройства 250 мм, масса 5 кг, масса заряда ВВ ~60 г. Магниты

Блок из четырех параллельно соединенных витковых МКГ диаметром 300 мм, запитываемый от спирального генератора ВМГ-240. Ток в каждом МКГ ~18 МА

Каскадная система, состоящая из ВПГ, удлиненного ВМГ-50 с выходным трансформатором диаметром ~100 мм и ВМГ-100

Трехэлементный малогабаритный дисковый генератор типа ДВМГ-240-3М с диаметром рабочей полости 240 мм

Пятиэлементный дисковый МКГ с диаметром дисков 1 м, выходной энергией ~100 МДж и амплитудой тока ~ 300 МА. В верхней части снимка – спиральный генератор ВМГ-240, ниже – дисковый МКГ, снизу – нагрузка (кондеромоторный узел для обжатия металлических лайнеров)



Спиральный МКГ с осевым инициированием заряда ВВ. Витки в середине генератора – индуктивная нагрузка. Внутренний диаметр спирали генератора 115 мм, длина 330 мм, начальная индуктивность ~15 мкГн. Индуктивность нагрузки ~2,8 мкГн, ток в нагрузке 160–170 кА при напряжении ~300 кВ

Генератор ВМГ-100 со встроенным взрывным размыкателем токового контура, обеспечивающий в нагрузке 20 нГн ток более 3 МА, нарастающий за 300 мс

Обостритель токового импульса генератора ВМГ-240, снабженного выходным трансформатором

Спиральный МКГ (выходная энергия 30 МДж)

постоянно поддерживают в рабочем объеме МКГ магнитное поле с общей энергией ~1 Дж. После подрыва детонатора МКГ захватывает созданный магнитами магнитный поток и генерирует на конечной индуктивности 40 нГн энергию 120 Дж. Выходной трансформатор передает ~44 % этой энергии в высокоиндуктивную нагрузку ~40 мкГн, при этом максимальное напряжение на нагрузке не превышает 16 кВ.

Аналогичное автономное устройство использует взрывной пьезокерамический генератор (ВПГ) с 60 см^3 пьезокерамики и 20 г ВВ. ВПГ питает начальной энергией малогабаритный генератор типа ВМГ-50 (внутренний диаметр спирали 50 мм). Для уменьшения выходного напряжения длина спирали увеличена до 400 мм, масса заряда ВВ ~400 г. В опыте при энергии ВПГ 6,7 Дж в нагрузке 30 нГн получена энергия 0,5 МДж.

МКГ с устройствами формирования токового импульса. Для согласования с параметрами нагрузки и формирования токового импульса МКГ используются совместно с замыкающими и размыкающими коммутаторами, а также с повышающими трансформаторами.

Увеличенный вдвое генератор (ВМГ-200) на той же нагрузке дает ток 6 МА при 320 кВ. Генератор ВМГ-240 снабжен выходным высоковольтным трансформатором для получения на высокоимпедансных нагрузках 15–20 мкГн импульсов напряжения 0,5–0,6 МВ с максимальной мощностью ~100 ГВт.

Для генератора ВМГ-240 используется компактный (диаметр 500 мм) обостритель мощности, использующий электрически взрываемые проводники. Включенный во вторичную цепь трансформатора он позволяет получать на нагрузке 10 Ом импульс напряжения с амплитудой более 1 МВ и длительностью фронта менее 0,5 мкс.

Испытан также генератор ВМГ-200 с высоковольтным трансформатором. Длина генератора составляет ~1000 мм, масса (без трансформатора) ~50 кг, масса заряда ВВ ~6,5 кг, масса трансформатора ~100 кг. На нагрузке с сопротивлением 40 м и индуктивностью ~75 мкГн получен импульс тока ~80 кА при напряжении 430 кВ.

Генератор располагается на подставке с изолирующей подвеской. Это дает возможность соединить последовательно четыре таких генератора, чтобы получить в нагрузке ~75 мкГн импульс тока ~100 кА при напряжении более 1,5 МВ.

Во ВНИИЭФ разработан спиральный МКГ с внутренним диаметром спирали 400 мм, снабженный встроенным взрывным размыкателем. Длина всего устройства 3,5 м, масса заряда ВВ 65 кг. Выходной ток МКГ – более 30 МА, энергия – 30 МДж, в нагрузке с помощью размыкателя создается ток ~15 МА с характерным временем нарастания 6 мкс.

Эксперименты по разгону металлических лайнеров

Ускоренные до больших скоростей конденсированные металлические проводники могут быть использованы для получения сверхвысоких давлений, изучения свойств различных материалов и в других исследованиях. Генерируемые сильными токами магнитные поля позволяют быстро сжимать относительно тонкостенные металлические цилиндры (лайнеры), ускорять плоские проводники. Обычно энергопитание таких экспериментов осуществляется с помощью быстроходных конденсаторных батарей. Во ВНИИЭФ для

этих целей применяются быстроходные МКГ с обостренным токовым импульсом.

Исследование роста возмущений поверхности. При разгоне стенок цилиндрического лайнера начальное возмущение поверхности быстро растет. Скорость роста определяется прочностными свойствами материала лайнера, зависящими от скорости деформации и температуры. Если задать на поверхности малые возмущения (например, в виде синусоиды с амплитудой 4–25 мкм, длиной волны 0,5–2 мм), то из анализа роста этих возмущений можно измерять динамические характеристики материалов, в частности, прочность и вязкость.

ВНИИЭФ участвовал в проведении экспериментов на установке ПЕГАС (ЛАНЛ, США) с лайнерами из алюминия разных марок. Исследовались химически чистый алюминий А995, сплав АМг6, а также алюминиевый сплав В95 и технически чистый алюминий АДО. Оказалось, что все четыре материала имели близкую динамическую прочность, хотя их квазистатические пределы текучести отличаются примерно в 40 раз. Для АМг6 и АДО полученные экспериментальные данные были предсказаны расчетами, для других полученные результаты используются для усовершенствования их моделей сдвиговой прочности.

Во ВНИИЭФ создано устройство для исследования динамической прочности материалов с использованием дискового МКГ диаметром 400 мм и трехслойной цилиндрической лайнерной системы. Система состоит из магнитоускоряемого алюминиевого лайнера-ударника, рабочего вещества и исследуемого материала с нанесенными первоначальными осесимметричными возмущениями. Отработана соответствующая методика.

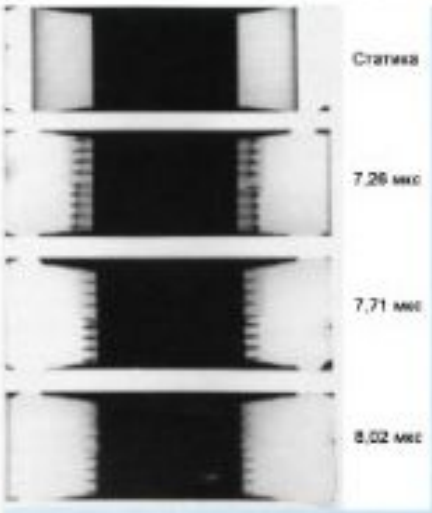
Регистрация роста возмущений производится в 3–4 последовательных момента времени. Исследования могут быть выполнены как в безударном (до 1,5 Мбар), так и в ударном (до 4 Мбар) режимах нагружения при скорости деформации 10^5–10^6 $с^{-1}$ и деформации более 100 %.

При использовании полиэтилена в качестве рабочего тела обнаружена его аномально высокая динамическая прочность. Поэтому он был заменен водой, динамическая сдвиговая прочность которой оказалась пренебрежимо малой. Впервые исследован рост амплитуды синусоидальных возмущений (начальная амплитуда 0,6 мм) на границе медь-вода, возникающий при развитии неустойчивости Рэлея – Тейлора. Радиальное сжатие обеспечивалось ударником из алюминия, ускоряемого током 35 МА (время нарастания 9 мкс).

Эксперименты по разгону плоских лайнеров. При конверсии кинетической энергии высокоскоростной оболочки возможно достижение высокой плотности энергии, что позволяет моделировать гидродинамические процессы. Благодаря безынерционности магнитного поля при ускорении токовым импульсом снимаются некоторые ограничения по достижимым скоростям ударников.

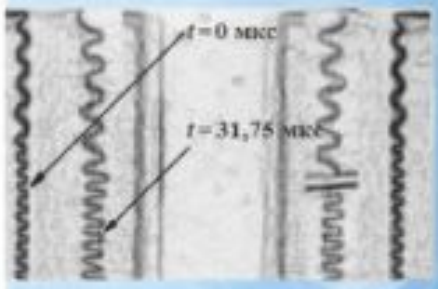
Из-за простоты диагностики для проведения таких исследований перспективны плоские оболочки-ударники. С использованием дисковых МКГ возможно создание конденсированных ударников размером 5 × 5 мм, толщиной 1 мм при разнодинамичности не более 1 %. При скорости нарастания тока 50 МА/мкс скорость медного ударника составит ~20 км/с; при 100 МА/мкс – ~30 км/с, для алюминиевого ударника скорость составит ~40 км/с.

При создании толстых ударников из тяжелых элементов дисковые МКГ более эффективны по сравнению с американской установкой *Z*.



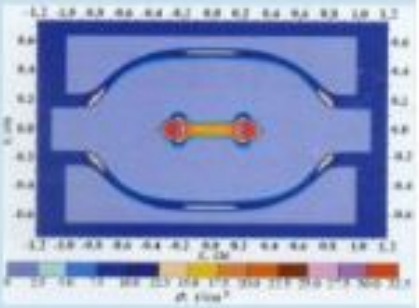
Рентгенограммы лайнера при токе 6,5 МА. Нижняя половина лайнера из химически чистого алюминия (А995), верхняя – из сплава АМг6

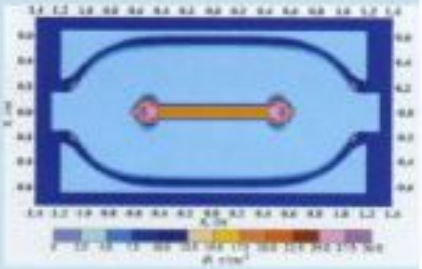
Устройство, разработанное во ВНИИЭФ, для исследования динамической прочности конструкционных материалов



Рентгенограмма роста возмущений при безударном нагружении (~160 кбар) медного образца

Схема устройства для ускорения плоских ударников





Расчетные профили разлета плоских ударников при нагружении их током дискового МКГ

Эксперимент с системой МАГО во ВНИИЭФ. На переднем плане – камера МАГО, рядом с ней – взрывной размыкатель, далее – спиральный МКГ типа ВМГ-240

Принципиальная схема устройства проверена на конденсаторной установке «Каскад» (50 кВ, в нагрузке 5 нГн ток 6 МА с временем нарастания 3,5 мкс). Скорость ударников составляла 3 км/с. Отработаны методики измерения с наносекундной точностью временных интервалов. Погрешность измерения не превышает 1 %, что позволяет в 3–5 раз сократить число опытов по сравнению с обычными газодинамическими методами определения УРС вещества.

Ток течет по прямоугольному центральному проводнику и возвращается по двум тонким пластинам, которые и являются ударниками, ускоряемыми магнитным полем этого тока по направлению к выполненным из исследуемого материала наружным пластинам.

Лайнер переменной массы. В МКГ при обострении токового импульса теряется много энергии. Поэтому во ВНИИЭФ для получения рентгеновского излучения с температурой в десятые доли килоэлектронвольта было предложено использование лайнера переменной массы. Совместно с ЛАНЛ был проведен модельный опыт. Задача получения рентгеновского излучения не ставилась, центральная область лайнера была занята диагностической аппаратурой для измерения скорости и формы лайнера. Получено удовлетворительное согласие с расчетами.

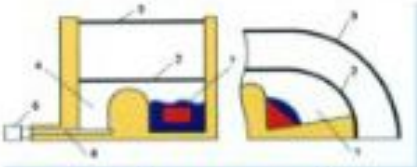
Термоядерные исследования в области МАГО

В системе МАГО (МАГнитное Обжатие) используется магнитное поле и предварительно нагретое плазменное горючее, ограниченное стенками и находящееся внутри сжимаемой термоядерной мишени. Поскольку режим работы импульсный, то для МАГО опасны только быстрорастущие неустойчивости. Не требуется больших сжатий (не более десятикратных по сравнению с радиусом), поэтому отсутствуют высокие требования к симметрии сжатия ДТ-газа. Однако система МАГО обладает высокой чувствительностью к примесям тяжелых элементов, источником которых являются стенки камеры и изоляторы.

Для энергопитания камеры МАГО используется спиральный МКГ с взрывным размыкателем. Камера МАГО работает в два этапа. На первом этапе в отсеке ускорения при токе 5–10 МА ДТ-газ замагничивается и во втором отсеке камеры подогревается до температуры 0,3–0,5 кэВ. На втором этапе замагниченная и подогретая ДТ-плазма сжимается оболочкой, разгоняемой до высоких скоростей магнитным полем, создаваемым мощным МКГ.

Для изучения процессов, имеющих место на первом этапе, сотрудниками электрофизического отделения проведено большое количество экспериментов с медной и алюминиевой камерами и изолятором из керамики (Al_2O_3). Получен нейтронный выход за импульс ~$5 \cdot 10^{13}$. Зарегистрировано длительное (более 10 мкс) рентгеновское излучение, что можно объяснить наличием в камере области «чистой» горячей водородной плазмы. Время жизни подогретой ДТ-плазмы в экспериментах составило 2–3 мкс. Для перехода ко второму этапу – дожатию ДТ-газа – необходимо продлить его до 5 мкс. Согласно расчетам и модельным экспериментам, такая продолжительность может быть достигнута при замене материала стенок камеры на токопроводящие легкие элементы (графит, бериллий или литий) и материала изолятора на окись бериллия.

Для исследований на втором этапе проводились эксперименты по разгону лайнеров магнитным полем. Лайнер с начальным радиусом 24 см, высотой 10 см, толщиной стенки 4 мм, массой 50 г ускорялся током ~100 МА, который генерировался пятимодульным дисковым МКГ с дисками, имеющими диаметр 1 м. На радиусе 6 см скорость внутренней поверхности лайнера составила ~8 км/с, конечная скорость ~20 км/с. В эксперименте с более легким лайнером достигалась скорость ~45 км/с.



а *б*

Схема дожатия подогретой ДТ-плазмы: а – цилиндрический вариант; б – квазисферический вариант: 1 – 2-й (термоядерный) отсек камеры МАГО; 2 – внешняя стенка 2-го отсека; 3 – высокоэнергетичный металлический лайнер; 4 – 1-й отсек (ускорения) камеры МАГО; 5 – МКГ; 6 – изолятор

Транспортабельный имитатор импульса молнии

В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработан и испытан транспортабельный источник энергии для воспроизведения токового импульса молнии на типовых заземлителях в грунте. Эта установка создана на базе спирального МКГ типа С-320. Для подачи начального энергетического импульса на генератор используется каскадная система, состоящая из двух спирально-коаксиальных трансформаторных МКГ типа К-80 и К-160, для которой требуется небольшая конденсаторная батарея энергоемкостью ~2 кДж. Генератор С-320 подсоединяется к двум последовательно соединенным повышающим трансформаторам.

В опытах с заземлителем в грунте, имеющим удельное сопротивление 160 Ом/м, зарегистрированы импульсы тока 70–80 кА длительностью на полувысоте более 200 мкс при напряжении более 700 кВ. Зафиксировано уменьшение активного сопротивления стержневого заземлителя более чем в 10 раз. Зарегистрировано возникновение и развитие по поверхности грунта мощных искровых каналов длиной до 30 м.

Разработан более компактный вариант имитирующего устройства. Он создан с применением четырех последовательно соединенных спиральных генераторов типа ВМГ-200, снабженных повышающими высоковольтными трансформаторами. При этом каждый генератор имеет автономный источник начального энергетического импульса с энергией ~30 кДж.

Интегральная картина работы имитатора импульса молнии, использующего МКГ типа С-320, на стержневой заземлитель

Генерирование мощного импульсного светового излучения

Мощное световое излучение возникает при импульсном сильноточном разряде в воздухе. Необходимость дальнейшего совершенствования способов и средств получения такого излучения продолжает оставаться актуальной, особенно при моделировании и имитации природных явлений, техногенных катастроф, в процессе создания устройств сигнализации, применяемых в экстремальных ситуациях.

Во ВНИИЭФ разработано несколько типов источников светового излучения, для энергопитания которых используются конденсаторные батареи или МКГ. Для инициирования каналов разряда в воздухе используются электрически взрываемые проводники (тонкие проволочки, металлическая фольга, диэлектрические подложки с напыленным металлом). Такие источники работают в однократном режиме. Другой путь инициирования – формирование скользящих разрядов вдоль поверхности диэлектрика с помощью импульса высокого напряжения. Этим методом получены разряды длиной до

Интегральная картина свечения искровых каналов на поверхности грунта при моделировании токового импульса молнии

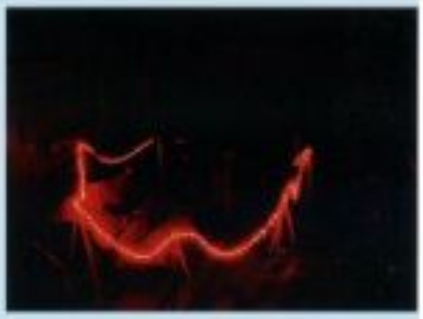
а

б

в

Плоский излучатель с инициированием разряда четырьмя алюминиевыми фольгами (а); цилиндрический излучатель с кабельными инициаторами поверхностного разряда (б); цилиндрический излучатель с МКГ типа К-80 (в)

160 мм. Менее известен способ формирования излучающих каналов с помощью кабельных инициаторов на скользящем разряде. Такие инициаторы обеспечивают прерывистую структуру разряда, позволяют создать источники света, работающие в частотном режиме. Они не требуют дополнительных коммутирующих устройств.

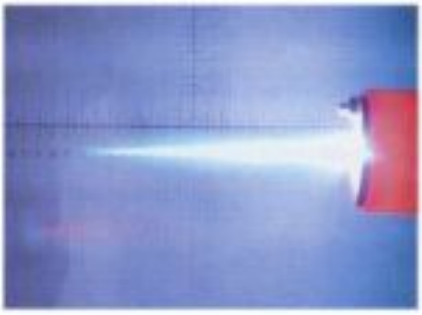


Электрический разряд длиной 30 м

В экспериментах электрический КПД разряда составил ~50 %, пиковая мощность ~4 ГВт, яркостная температура излучателей ~15,5 кК. При использовании МКГ типа К-160 (выходная энергия ~2 МДж) ток в разряде составлял ~1,2 МА, энергия ~1,3 МДж, пиковая мощность ~40 ГВт. Яркостная температура превысила 23,5 кК, сила света ~10 Гкд. Для спектрального диапазона 0,2–3,6 мкм максимальная энергия, излученная в полусферу, составила ~120 кДж. С использованием конденсаторной батареи ГИН-160 сформированы и более протяженные разряды: длиной десять и даже тридцать метров.

Для использования в экспериментах по воздействию на различные объекты разработаны генераторы плазменных струй длиной 4–100 см диаметром в несколько миллиметров. Температура струи 1200–1400 К, длительность воздействия – десятки миллисекунд. Струя генерирует тепловой и механический импульсы, световое излучение в диапазоне от инфракрасного до ультрафиолетового, порождает ультразвуковые колебания с частотой десятки килогерц, а также озон и окислы азота.

Многоканальный генератор плазменных струй BLASTER-F, работающий в частотном режиме



Эрозионная плазменная струя

Разработка мощных источников мягкого рентгеновского излучения

В НТЦФ РФЯЦ-ВНИИЭФ реализуется программа создания источника мягкого рентгеновского излучения (МРИ) с энергией ~10 МДж и мощностью более 500 ТВт. Разработка базируется на схлопывании так называемых *z*-пинчей, энергия для которых подается от МКГ (комплекс ЭМИР). В рамках программы разрабатываются базовые технологии генерации, формирования и транспортировки высоковольтных импульсов и преобразования их в МРИ при схлопывании многопроволочных цилиндрических лайнеров и методики изучения происходящих при этом физических процессов.

Проведены модельные эксперименты на быстроходной конденсаторной батарее САРМАТ по обжатию проволочных лайнеров диаметром 70 мм, образованных из 48 вольфрамовых проволочек диаметром 11 мкм. Амплитуда тока в лайнере составила ~1 МА при времени нарастания ~1 мкс. Зарегистрировано рентгеновское излучение, максимум которого наблюдался спустя ~1,5 мкс после начала тока.

Проведены эксперименты по имплозии аналогичных лайнеров, получающих энергию от МКГ типа ВМГ-100 и ВМГ-200. Диаметр лайнера 60 мм, высота 30 мм и 15 мм. Диаметр вольфрамовых проволочек 8 мкм или 11 мкм (50 проволочек – ВМГ-100, 200 – ВМГ-200).

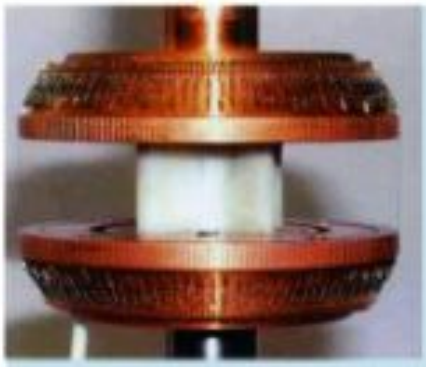
МКГ использовались совместно со взрывным размыкателем токового контура. Ток в лайнере составил 2–3 МА (ВМГ-100) и 4 МА (ВМГ-200) при времени нарастания 0,3–0,4 мкс. Зарегистрировано рентгеновское излучение с энергией 30–40 кДж (ВМГ-100) и 80–120 кДж (ВМГ-200).

Разработан вариант эксперимента, в котором используется десятиэлементный дисковый МКГ типа ДВМГ-240-10 с электровзрывным размыкателем, обеспечивающим ток в лайнере ~20 МА со временем нарастания ~1 мкс. Лайнер представляет собой двухкаскадную многопроволочную систему, диаметр внешнего каскада 200 мм, внутреннего – 100 мм, высота лайнера 25 мм. В лайнере размещены вольфрамовые проволочки диаметром 11 мкм (720 проволочек – во внешнем, 360 – во внутреннем каскадах). Ожидаемый интегральный выход МРИ при имплозии лайнера – более 1 МДж.

Использование в качестве источника энергии дискового генератора ДВМГ-480 позволяет перейти к экспериментам по зажиганию термоядерных мишеней.

Исследования в области сильноточной СВЧ-электроники

Во ВНИИЭФ становление данного направления приходится на вторую половину 80-х годов. Первый мощный СВЧ-генератор был создан на релятивистском электронном пучке ускорителя И-3000 с энергией электронов 3 МэВ и током 20 кА. Это лампа бегущей волны (ЛБВ), настроенная на частоту 10 ГГц. Оптимизация электродинамической структуры и выводного антенного устройства СВЧ-генератора позволила сформировать и вывести в атмосферу рекордное по тому времени излучение с пиковой мощности 3 ГВт. Столь мощное электромагнитное излучение при распространении в атмосфере



Многопроволочный лайнер для опытов с генератором ВМГ-200

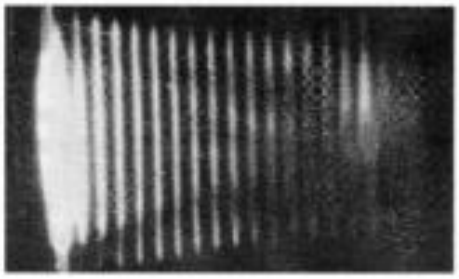
Лайнерная камера с генератором ВМГ-200

Ускоритель электронов И-3000 с лампой бегущей волны

Электродинамическая структура гексатрона

Автономный малогабаритный излучатель МЗИ

Релятивистский магнетрон на ускорителе «Корвет»



Свечение, вызванное электрическим пробоем воздуха при нормальном давлении

Ускоритель электронов «Ковчег»

способно вызвать электрический пробой воздуха при нормальном давлении, что и было зарегистрировано в экспериментах.

Чтобы повысить эффективность вывода излучения и соответственно мощность генерируемых микроволновых полей, была разработана конструкция лампы бегущей волны на шести параллельных электронных пучках – генератор гексатрон. Успешную проверку гексатрон прошел на сильноточном ускорителе электронов «Ковчег». На этом ускорителе можно проводить детальную отработку и оптимизацию электродинамических структур СВЧ-генераторов, в которых первичным источником энергии предполагается использовать МКГ.

Первый в мире эксперимент по преобразованию энергии ВВ в мощный импульс СВЧ-излучения был проведен во ВНИИЭФ в 1989 году. Источником энергии являлся МКГ типа К-160, в качестве электродинамической структуры использовался многоволновой черенковский генератор. Впоследствии были разработаны и испытаны другие типы СВЧ-генераторов с питанием от МКГ – лампа бегущей волны, отражательный триод и виркатор. Наиболее широкое распространение за счет простоты конструкции и отсутствия внешнего ведущего магнитного поля получили СВЧ-генераторы с виртуальным катодом, так называемые виркаторы. Одним из примеров реализации виркатора с питанием от МКГ типа ВМГ-60 является автономный малогабаритный СВЧ-излучатель МЗИ.

Отличительной особенностью генераторов с виртуальным катодом является его широкополосность (до 30 % относительно центральной частоты). Экспериментально была продемонстрирована возможность управления длиной волны излучения в пределах частотной полосы генерации.

Совместно с ИПФ РАН проведена разработка релятивистского магнетрона с дифракционным выводом излучения. Оптимизация и отработка магнетрона проходила во ВНИИЭФ на ускорителе электронов «Корвет». При энергии электронов 750 кэВ и магнитном поле 0,6 Тл в атмосферу выведено микроволновое излучение мощностью 200 МВт на частоте 8 ГГц.

Во ВНИИЭФ разработаны также технологии мощных импульсно-периодических СВЧ-генераторов. Для исследования явления электромагнитной совместимости с различными радиоэлектронными приборами и изучения механизмов взаимодействия импульсных СВЧ-полей с веществами создана мобильная установка «Сверчок», которая размещается в автомобиле.

Генератор «Сверчок», размещенный в автомобиле

В процессе исследования характеристик мощных импульсных СВЧ-полей необходимо регистрировать временную зависимость плотности потока мощности излучения в заданной точке пространства, спектральный состав, поляризацию и диаграмму направленности микроволнового излучения. Разработанные для этих целей методы и средства измерений являются уникальными и проходят регулярную проверку и калибровку на специализированных стендах.

Технологические исследования во ВНИИЭФ

Решение разнообразных научно-технических и инженерных задач материаловедческого и технологического характера необходимо для создания ядерных боеприпасов, повышения их технических характеристик, надежности и безопасности. Сектор 7 КБ-11 по разработке и исследованию новых материалов и прогрессивных технологических процессов был организован 5 апреля 1956 года приказом по «объекту». На специалистов сектора было возложено выполнение следующих основных задач:

– поиск и разработка новых материалов применительно к конструкциям изделий, разрабатываемых в КБ-11;

– изучение физико-механических, электрических, магнитных, технологических характеристик и свойств материалов, применяемых в изделиях;

– исследование поведения материалов в процессе длительного хранения в различных условиях и разработка методик их испытаний;

– разработка специальных технологических процессов в области переработки полимерных материалов, обработки металлов давлением, различных видов сварки и пайки металлов и сплавов, термообработки, гальванических процессов, клеевых соединений, защиты от коррозии и многих других направлений;

– внедрение в опытное и серийное производство перспективных материалов и технологий;

– изготовление единичных образцов деталей и узлов для комплектации опытных конструкций.

Установка электронно-лучевой сварки ЭЛУ-5

Установка плазменного напыления в защитной среде и динамическом вакууме

Достижения прошедших лет

В процессе решения перечисленных выше задач коллективом сектора получены значительные результаты, оказавшие серьезное влияние на облик современных ядерных боеприпасов. Перечислим некоторые из них.

Установки электронно-лучевой сварки и технологии прецизионной сварки повысили прочность, надежность, герметичность и технологичность изготовления конструкций особо важных узлов ядерных зарядов. Среди разработчиков этого направления прежде всего отметим А. И. Некипелова, А. И. Тихонова, Д. И. Зенкова и П. И. Митько. Технология термовакуумной обработки урановых деталей позволила решить проблемы оксидной коррозии. Здесь необходимо упомянуть И. Д. Гончарова, В. П. Тукмакова, Л. И. Мирошникова. Разработка процесса плазменного напыления оксида гадолиния, композиционных рентгенозащитных резиноподобных материалов и технологии сварного навесного монтажа электрорадиоэлементов обеспечила защиту изделий от воздействия рентгеновского облучения. В развитие этих направлений наибольший вклад внесли В. Е. Коломийцев, О. А. Измайлов, Л. Н. Сметанин, Р. В. Кушникова, Г. Р. Кадырова, Э. И. Плавинский и В. А. Квасков. Разработка и внедрение различных технологий изготовления деталей позволили значительно улучшить характеристики изделий. Так, детали из пенополистирола с низкой объемной разноплотностью успешно применялись в фокусирующих системах, крупногабаритные детали из полиэтилена — в узлах бинарных зарядов. Ряд композиционных материалов на полимерной основе (так называемые боропласты и графитопласты) обеспечил повышение фоностойкости изделий и улучшение их газодинамических характеристик. Основными разработчиками были Н. А. Симонов, В. Н. Троицкий, Е. И. Жильцов и В. Т. Батый.

Проблема защиты урановых деталей от всех видов коррозии была решена разработкой малоотходной технологии, при которой слой меди наносился на никелевый подслой гальваническим способом. Значительный интерес представляют созданные в отделении наукоемкие технологии получения деталей из пластичных сплавов: вольфрам-никель-медь и вольфрам-никель-железо. Вначале происходит объемное гидростатическое сжатие смесей металлических порошков, затем спекание в водородной среде и высокотемпературный отпуск в вакууме. Сплавы обладают относительным удлинением до 15 %. Здесь прежде всего нужно упомянуть работы А. И. Рачковского, И. Е. Вичканского, А. Л. Марьюшкина и В. И. Малинова.

Для защиты живой силы и техники от пулевого и осколочного воздействия технологами отделения разработаны конструкции бронеэлементов пятого класса стойкости (т. е. обеспечивающих защиту от автоматического стрелкового оружия) на основе модифицированного карбида бора. Созданы высокотемпературные (до 2300 °С) установки и технологии их изготовления. Композиционный материал «Карбонит» на основе нитрида и карбида бора, обладающий высокой теплоемкостью и низкой теплопроводностью, придает дополнительную пожаростойкость деталям, изготовленным из него по технологии, также разработанной в отделении. Это позволяет улучшить характеристики внутренних узлов изделий.

Серьезную проблему для производственников представляла обработка деталей из труднодеформируемых сплавов. После создания

в отделении экспериментальной базы и уникальных технологий взрывной штамповки стало возможным изготавливать из этих сплавов полусферические оболочки размером до 800 мм и производить взрывную сварку листовых и цилиндрических слоев разнородных биметаллов. Разработчики технологий – О. Г. Бутко, Ю. А. Гусев, Ю. Н. Киткин, В. И. Рыбаков.

Технология изготовления рельефных печатных плат высокой плотности (разработчик И. А. Черевань) позволила выполнить требования разработчиков БЧ по миниатюризации специальных электронных приборов. В отделении создали и освоили в производстве технологию изготовления пленочных контактных датчиков, эрбиевых термоядерных источников, методики неразрушающего контроля сварных и паяных соединений и добились многих других важных результатов. Здесь нужно упомянуть сотрудников технологического отделения Г. Н. Кашинцеву, Л. И. Жидова, Э. И. Плавинского и В. П. Симановского.

Диод АГС 2000-К1.100

Экран АГС 2000-К1.210

Современная деятельность отделения

В настоящее время отделение специальных технологических процессов и материаловедения представляет собой сложившийся дееспособный коллектив, прочно занимающий свое место в структуре института. Его разработки являются неотъемлемым звеном в единой технологической схеме создания изделий. В состав отделения входят 14 научно-исследовательских лабораторий, два технологических отдела и один конструкторский. В нем имеются экспериментальный цех, а также вспомогательные подразделения и службы. Эти подразделения обеспечивают все необходимые работы на мощной базе технологического, диагностического и металлообрабатывающего оборудования.

В отделении работают один доктор и 24 кандидата технических наук.

Деятельность специалистов отделения сосредоточена как на решении задач, поставленных перед ВНИИЭФ гособоронзаказом, так и на создании задела в области новейших научно-технических направлений. Новые разработки ведутся отделением совместно с другими подразделениями ВНИИЭФ. Это направление деятельности технологов имеет целью придание новым разработкам прикладного характера, чтобы в дальнейшем возможно было использовать их результаты также при решении задач гособоронзаказа. Расскажем о важнейших результатах этого направления.

Ряд новейших исследований, выполненных в РФЯЦ-ВНИИЭФ, привел к созданию экспериментальных образцов СВЧ-генераторов с виртуальным катодом (они называются виркаторами). Эти генераторы имеют характеристики, представляющие интерес для практического использования в оборонных целях. Однако особенности конструкции виркатора не дают возможности его изготовления на базе известных технологий. В связи с этим отделению была поручена разработка новых методов для изготовления неразгерметизируемого (отпаянного) виркатора. В разработке принимали участие И. М. Ириничева, Ю. М. Поздяев, В. И. Хвостов, М. Н. Щучкин, В. М. Ишков. В результате проведенных технологических исследований удалось решить следующие задачи:

1. Разработать технологию изготовления высоковольтных изоляторов методом горячего литья керамики под давлением в металлическую форму.

Заготовки из «Сферолита»

2. Разработать технологию изготовления крупногабаритных экранов методом гидростатического прессования керамического порошка, что обеспечивает минимальную разноплотность и более низкий уровень внутренних напряжений по сравнению с осевым прессованием.

3. Разработать технологию изготовления взрывоэмиссионных катодов из углеродного материала, обладающего нанопористой структурой.

4. Отработать технологию высокотемпературной вакуумно-плотной пайки керамических элементов виркатора с коваровым корпусом путем использования активных припоев на основе меди и титана.

5. Разработать технологию изготовления сетчатых анодных узлов сложной формы на основе метода компенсации термических деформаций.

Сотрудниками ВНИИЭФ проводится разработка технологии изготовления первичного теплового химического источника тока (ТХИТ). Одним из наиболее перспективных материалов для этого источника является литий-борный сплав (LiB). Однако на настоящий момент существует лишь производство опытных образцов данного материала, который выпускается без комплексной аттестации его характеристик. Перед технологическим отделением института была поставлена задача разработки синтеза LiB-сплава. Для этого потребовались глубокое изучение механизмов многоступенчатого нагрева в ходе синтеза LiB, выбор интенсивного способа перемешивания реагентов для гомогенизации LiB (электромагнитного, ультразвукового или механического). Изучался также оптимальный режим синтеза, разрабатывались методики определения качества синтезируемого LiB и универсальное оборудование для его получения. Разработчиками новой технологии стали Н. И. Белоусов, Н. Г. Разинкова и Ю. С. Белячков. Результаты лабораторных технологических исследований с применением электромагнитного перемешивания показали принципиальную возможность решения проблемы обеспечения высокоэффективным анодным материалом производителей ТХИТ. Наработано около 180 партий сплава, большая часть которых отвечает требованиям разработчика. В перспективе необходимо устранить основной недостаток — нестабильность качества сплава от партии к партии. Продолжаются исследования в режимах ультразвукового и механического перемешивания реакционной массы в ходе проведения синтеза.

При хранении некоторых приборов, разрабатываемых во ВНИИЭФ, может возникнуть ситуация, когда детали из специального сплава находятся в контакте с газовоздушной смесью, содержащей водород, активно взаимодействующей со сплавом, что приводит к появлению глубоких язв, заполненных пирофорным порошком гидрида. По сложившемуся мнению, наиболее действенная защита в данном случае обеспечивается летучими ингибиторами коррозии. На протяжении десятилетий в качестве такого ингибитора используется нитрит дициклогексиламмония (НДА). Однако в связи с возросшими требованиями к изделиям встала задача подбора иного соединения, более эффективно ингибирующего гидридную коррозию и при этом более инертного по отношению к сплаву.

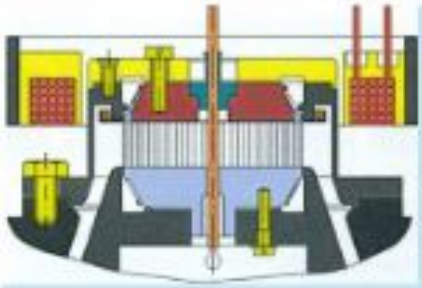
В качестве ингибиторов технологами отделения (И. Д. Гончаров, В. П. Тукмаков, Д. Е. Поздняев) исследован ряд органических соединений, содержащих азот, серу, хлор. Показано, что существуют два типа ингибиторов. Ингибиторы первого типа (гексахлоран, цистин)

примерно на два порядка продлевают время до начала коррозии. Это так называемый индукционный период, после окончания которого происходит быстрое гидрирование. Ингибиторы второго типа (тиурамы) при незначительном увеличении индукционного периода на 3–4 порядка снижают скорость гидрирования по его окончании. Представляется, что наилучшая защита будет обеспечена при совместном применении ингибиторов двух типов. НДА относится к ингибиторам первого типа, однако в условиях испытаний он взаимодействует со сплавом с образованием осыпающихся продуктов; защитная способность НДА снижается при повышении давления водорода. Сейчас в отделении продолжаются исследования, выясняющие разные аспекты применения ингибиторов. Это проверка защитной способности при повышенном давлении водорода, испытание смесей ингибиторов, оценка влияния ингибиторов на окислительную коррозию. Решаются и другие задачи.

В технологическом отделении РФЯЦ-ВНИИЭФ были проведены исследования по созданию негорючего экологически чистого теплоизоляционного материала на основе жидкого стекла и микросфер, которые вырабатываются из зольных отходов тепловых электростанций. В результате при самом активном участии Э. В. Быковой и Г. Х. Коршуновой была разработана технология получения материала, получившего название «Сферолит». Он характеризуется низкой плотностью, высокой огнестойкостью, а также оптимальным сочетанием прочностных и теплофизических характеристик. Была отработана технология получения материала, проведены комплексные исследования его свойств и показана возможность его использования в качестве огнестойкой (до 1000 °С) теплоизоляции. На разработку получены соответствующие патенты. Проведены инженерная, санитарно-гигиеническая, пожаробезопасная сертификации. В настоящее время отработана технология получения крупногабаритных заготовок из «Сферолита» для применения в новых пожаробезопасных изделиях по основной тематике РФЯЦ-ВНИИЭФ.

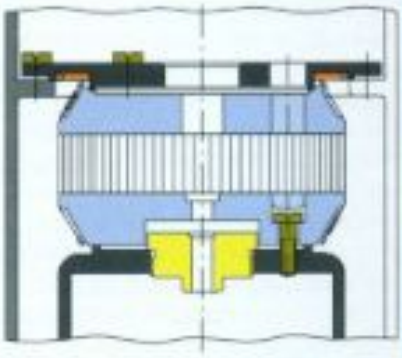
С 2001 года технологическим отделением совместно с НТЦФ ведутся исследования по созданию лайнерных систем на основе проволочных сборок. Эти системы необходимы для проведения научных исследований в области физики высоких плотностей энергии, в частности, для генерации мощных потоков мягкого рентгеновского излучения (МРИ) и сжатия продольного магнитного поля. Результатом разработки (ее участники – технологи И. Е. Пикулин, Н. А. Ермишин и Ю. М. Корякин) является технология проволочных сборок на основе компактных пружинных проволочных подвесов. Технология позволяет формировать сборки с необходимым количеством проволочек (в настоящее время реализованы сборки с 50, 100, 200 и 1080 проволочками) диаметром 8, 11, 20 мкм и более. При этом диаметры лайнера составляют 60, 70, 100, 140 и 200 мм. Достигнута заданная точность позиционирования проволочек – на данном этапе она не хуже 40 мкм.

Все разработанные конструкции лайнерных систем показали высокую эффективность и надежность при работе с получением энергии от ВМГ-100 и ВМГ-200 и при их использовании на лабораторной установке «СарМАТ». В опытах с ВМГ-200 на проволочном лайнере массой m = 2,23 мг, высотой h = 15 мм, собранном на диаметре 60 мм из двухсот W проволочек $d_{пр}$ = 8 мкм, получен один из самых высоких потоков МРИ, когда-либо регистрируемых в России: $E_{мр} \approx 100$ кДж.

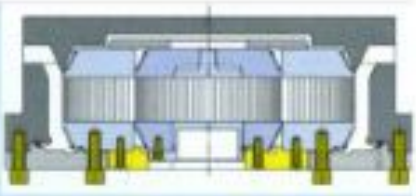


Проволочная сборка для сжатия магнитного поля с запиткой от ВМГ-200

Проволочная сборка для получения МРИ с запиткой от ВМГ-200



Проволочная сборка для установки «СарМАТ»



Двойная проволочная сборка для получения МРИ с запиткой от ДВМГ-240

Автоматизированная система контроля АСК «Скат-02»

а *б*

Печатные платы: а – рельефная; б – двусторонняя

В настоящее время активно ведутся исследования по созданию новых лайнерных систем как для опытов с дисковыми генераторами ДВМГ-240 и ДВМГ-400 и с установкой «СарМАТ». При этом решаются технологические задачи сборки систем с большим количеством проволочек (до 2000 шт.), использования проволочек диаметром 6 мкм и менее, повышения точности позиционирования до 5 мкм. Изучается возможность создания новых конструкций лайнеров: двухкаскадных, спиральных и сплошных (фольговых). Кроме того, крайне важным направлением деятельности являются исследования по созданию сверхмалоплотного СН конвертора для эффективного преобразования кинетической энергии плазменного лайнера в МРИ. Совместно с Институтом органической химии РАН разрабатывается технология получения материала с плотностью ~ 5 мг/см^3 и размером пор ~ 1 мкм на основе дианоформальдегидной смолы. Данная технология позволит достигнуть в 3–5 раз более низких плотностей, чем у малоплотных материалов из полиэтилена и полистирола. За счет высокой жесткости материала, управляя процессом гелеобразования, возможно изменять размер пор от 1 до 20 мкм при одинаковой плотности материала. При необходимости получения углеродной пены дианоформальдегидный малоплотный материал карбонизируется с усадкой < 10 %.

Разработка и освоение во ВНИИЭФ производства химических источников тока (ХИТ) для комплектации перспективных специзделий определили значительный объем технологических исследований, которые успешно выполняются технологическим отделением института. Здесь прежде всего нужно упомянуть С. В. Мартынова, А. Ю. Гусева, В. М. Ишкова и С. Н. Шошина. В частности, по этому направлению разработаны и освоены в опытном производстве:

– принципиально новая для ВНИИЭФ высокопроизводительная технология пайки керамики с металлами в составе гермовводов ХИТ с использованием экологически чистых припоев на основе меди и титана;

– оригинальная технология получения герметичных металлостеклянных спаев системы «ковар-стекло-титан» с предварительным нанесением активирующего подслоя на основе бора;

– технология изготовления никелевых сеток для анодных систем ХИТ методом избирательного высаживания никеля на промежуточную подложку из нержавеющей стали.

Особо сложной технологической задачей при освоении производства ампульных ХИТ является изготовление тонкостенных малогабаритных сильфонов из нержавеющей стали. Эти сосуды предназначаются для долговременного хранения агрессивного раствора тионилхлорида. Здесь под руководством И. Н. Поздова были получены следующие результаты:

– разработана и внедрена в опытном производстве технология изготовления сильфонов с формированием гофр сильфонов путем последовательной раздачи трубчатых заготовок в разборную матрицу;

– отработан оригинальный, считавшийся ранее невыполнимым, технологический процесс глубокой вытяжки колпачков – заготовок из стальной нержавеющей ленты толщиной 0,13 мм. Далее следует оформление гофров сильфонов путем обжима колпачков на разборном пуансоне.

Новая технология изготовления сильфонов из листа обеспечивает дальнейшее повышение их качества и стабильности рабочих размеров. Технология защищена двумя патентами РФ.

Исследования по разработке новых технологических процессов сопровождаются совершенствованием методов и средств неразрушающего контроля изделий. В развитие этого направления существенный вклад внесен В. А. Вагановым и Б. С. Брагиным. Развиваются такие традиционные методы неразрушающего контроля, как акустический, радиационный, вихретоковый, магнитный и другие, причем особое внимание уделяется автоматизации процессов контроля и компьютерной обработке результатов измерений. Методы совершенствуются по двум направлениям: в области фундаментальных исследований (на перспективу развития неразрушающего контроля) и в области прикладного применения для конкретных изделий. Одна из последних разработок автоматизированных систем неразрушающего контроля прикладного применения – ультразвуковая установка «Скат-02» для контроля разнотолщинности оболочек из спецматериала, внедряемая на ПО «Маяк».

В отделении постоянно ведутся исследования по разработке и оптимизации производственных технологических процессов. Примером может служить создание технологии рельефных печатных плат, отличительная особенность которых состоит в том, что проводящие дорожки утоплены в основание печатной платы. Это позволяет уменьшить расстояние между проводниками и увеличить плотность монтажа. Тем самым решается проблема миниатюризации приборов. Несмотря на то, что технология внедрена в опытном и серийном производстве, исследования в этом направлении продолжаются и направлены на увеличение плотности проводящего рисунка и повышение их термостойкости.

Одним из важнейших направлений технологических исследований является определение гарантийных сроков эксплуатации конструкционных материалов. Эти работы являются одной из составляющих общей задачи установления сроков службы изделий ВНИИЭФ. Ими занимаются технологи под руководством Л. В. Полякова и В. С. Кравченко. Наиболее чувствительными к длительному хранению изделия являются полимерные и активные материалы, хотя природа их изменения различна.

Все факторы, способствующие старению полимерных материалов, можно разделить на внутренние и внешние. К внутренним относят состав и структуру, молекулярно-массовое распределение, наличие внутренних дефектов, внутренние напряжения. К внешним – температуру, влажность, световую и проникающую радиацию, кислород, агрессивные газообразные примеси, механические нагрузки, электрические воздействия. Температура, как правило, играет роль активатора процесса старения, способствуя ускорению химических превращений. Однако температура может и сама служить фактором старения, когда в результате определенных физических процессов изменяются конфигурация и конформация макроцепей и их надмолекулярная организация. Большое значение в этом случае имеет фактор времени.

Обычно работоспособность полимерного материала оценивается параметром, отражающим то свойство полимера, которое главным образом обеспечивает возможность и целесообразность использования его в конкретных условиях эксплуатации. При проведении лабораторных испытаний на старение обоснование режима этих испытаний в большей части базируется на качественной аналогии между изменениями контролируемого параметра, наблюдаемыми в опытах и в реальных условиях. Такая аналогия, основанная на большом статистическом материале, позволяет рассчитать «коэффициент ускорения», достигаемый при искусственном старении.

В отделении в настоящее время ведутся работы по установлению максимальных гарантийных сроков эксплуатации пенопластов, резин, компаундов, различных композиционных, активных материалов, клеевых соединений и покрытий. Технологи ВНИИЭФ также выполняют проверку физико-механических свойств материала деталей, прошедших определенные сроки эксплуатации. Последнее направление очень важно, так как, помимо усовершенствования методик исследований, поможет ответить на вопрос о возможности дальнейшего использования деталей по назначению или их передачи для переработки.

Развитие технологий, связанных с созданием, исследованием и использованием объектов с наноразмерными элементами структуры материалов, уже в ближайшие годы способно привести к кардинальным изменениям в материаловедении, машиностроении, энергетике и других областях.

В отделении ведутся исследования по влиянию наноструктур компактных конструкционных материалов на их физико-механические и технологические свойства. Внимание экспериментаторов сконцентрировано на изучении влияния наноструктур на свойства как компактных металлов и сплавов (медь, титан, никелид титана), так и компактных веществ неорганической природы (оксид алюминия, карбид бора, нитрид бора, карбид вольфрама). Получение компактных конструкционных материалов с наноструктурой возможно двумя способами. Для металлов и сплавов оптимален способ интенсивного пластического деформирования, а для материалов неорганической природы – способ

Заготовка на различных этапах РКУП (компьютерное моделирование)

механоактивации порошков с последующим высокотемпературным сжатием.

Одним из вариантов интенсивного пластического деформирования является равноканальное угловое прессование (РКУП). Разработчики новых методик этого направления — А. И. Коршунов, И. Н. Поздов. Процесс РКУП представляет собой продавливание заготовки через два пересекающихся канала, имеющих одинаковое сечение. В месте пересечения каналов материал подвергается сдвиговым деформациям, приводящим к измельчению зерна и увеличению прочностных характеристик. Уже после четырех циклов РКУП размер зерна для меди М1 уменьшается от 80 до 1 мкм, при этом предел текучести увеличивается в четыре раза, предел прочности — в два раза при уменьшении относительного удлинения.

Механоактивация — это высокоэнергетический процесс измельчения и наноструктурирования исходных промышленных порошков в планетарных шаровых измельчителях, где обеспечивается ударное нагружение со сдвигом. Механоактивация позволяет уменьшить размеры частиц порошка (например, карбида бора) в среднем с 60 до 0,250 мкм, при этом значительная доля частиц имеет размеры до 50 нм. Дальнейшая переработка ультрадисперсных порошков карбида бора в компактное состояние высокотемпературным сжатием показало, что этим методом микротвердость порошков увеличивается на ≈ 20 %, предел прочности на сжатие возрастает на ≈ 30 %, температура горячего прессования снижается на ≈ 150—200 °С.

Для механоактивированной смеси карбида и нитрида бора (материал «карбонит») плотность возрастает на 11—13 %, предел прочности на сжатие увеличивается в шесть раз и составляет 460 МПа. Температура горячего прессования снижается с 2050 °С до 1700 °С.

Ведутся исследования по снижению паропроницаемости полимерных защитных покрытий гидридных деталей путем введения в покрытие фуллероидных добавок и молекулярного наслаивания на поверхность покрытия гидрофобных материалов. Значительный практический интерес представляют исследования по влиянию механоактивированного оксида гадолиния на адгезионную прочность оксида, который наносится на уран и алюминий плазменным способом с целью увеличения их гарантированных сроков годности.

Технологи отделения ведут исследования, направленные на создание новых наноструктурных высокопористых материалов из углерода и металлов. Результатом этих исследований явилось создание технического углеродного материала с нанопористой структурой (ТУМаН) и наноструктурного высокопористого никеля. Среди разработчиков новых материалов прежде всего нужно упомянуть М. Н. Щучкина. Углеродный материал ТУМаН получают путем карбонизации специально полученного из жидких фенолоформальдегидных смол пористого фенопластового прекурса, обладающего микросферической структурой. Диаметр отдельных твердых микросферических частиц прекурса — 1—15 мкм. После карбонизации эти частицы становятся нанопористыми, что приводит к увеличению удельной поверхности получаемого углеродного материала до 600 м^2/г. Регулируя плотность упаковки микросферических элементов на стадии получения фенопластового прекурса, можно изменять его пористость и, соответственно, пористость ТУМаНа в диапазоне 45—86 %.

Планетарная мельница МПЛ-3 (Россия). Достигаемое ускорение — 30 g. Объем загрузки — 3 × 1330 см^3

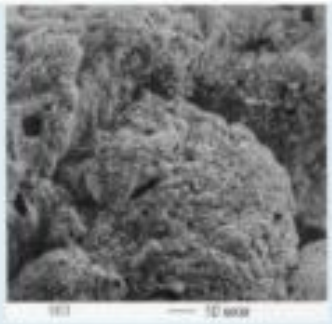
Активатор АПФ-3 (Россия). Достигаемое ускорение — 60 g. Объем загрузки — 4 × 550 см^3

Высокопористый наноструктурный материал из никеля получают из порошковой композиции, включающей нитрат никеля и уже упоминавшийся выше фенопластовый микросферический прекурс. Эту порошковую композицию активируют коротким локальным тепловым импульсом, который приводит к возникновению фронта экзотермической реакции восстановления никеля до металла, проходящей в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Процесс СВС осуществляют в замкнутом объеме при постоянном отводе выделяющихся в ходе реакции газов и паров воды. Продуктом реакции СВС является чистый никель, обладающий открытой пористостью до 9 % при удельной поверхности более 8 $м^2/г$. Структура состоит из спеченных наноструктурированных микрошариков. Средний размер кристаллитов никеля в таких микрошариках составляет 70–80 нм.

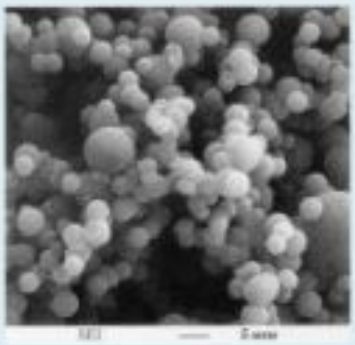
По результатам проведенных исследований получены три патента на способы получения и области применения новых разработанных материалов. В настоящее время в рамках тематики оформлены еще три заявки на изобретения. Продолжаются работы по расширению номенклатуры металлов и сплавов, которые могут быть получены по новым экономичным технологиям в наноструктурированном состоянии.

В настоящее время перспективным направлением исследований является разработка прогрессивных конструкций и технологий, основанных на использовании материалов, обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ). Физической основой ЭПФ служит фазовое термоупругое, то есть обратимое, превращение мартенситного типа. Непосредственно под ЭПФ понимается явление восстановления предварительной деформации объекта, инициированное за счет изменения температуры. Основные преимущества при использовании материалов с памятью формы в технических устройствах достигаются за счет их способности к прямому преобразованию тепловой энергии в механическую работу. При этом генерируются колоссальные напряжения, которые могут достигать значений 1000 МПа. Поэтому устройства, в которых применяются МПФ, отличаются простотой и, следовательно, надежностью конструкции.

Специалистами отделения под руководством Н. Н. Попова создана уникальная экспериментально-методическая база для исследования термомеханических свойств материалов с памятью формы в широком диапазоне температур и скоростей деформаций. Это позволило исследовать свойства никелида титана – сплава с эффектом памяти формы – после различных температурно-скоростных воздействий и разработать на его основе технологии, предназначенные для использования в конструкциях изделий с целью повышения их надежности. В частности, была установлена возможность использования никелида титана при изготовлении различных устройств, используемых в трубопроводах, системах автоматики и контроля. Это, например, муфты, предназначенные для бессварочного термомеханического соединения разнородных трубопроводов и элементов конструкций, обратный клапан системы газового наполнения, термоэлектромеханический замок, исключающий несанкционированный доступ к внутреннему объему контейнеров. Также никелид титана может применяться в автоматических размыкателях электрической цепи, имеющих пониженный температурный порог срабатывания по сравнению с применяемыми устройствами, а также во многих других отраслях промышленности. Новизна описанных технических решений подтверждена соответствующими патентами.



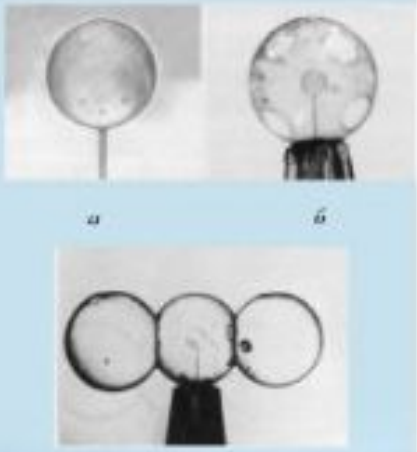
Микроструктура никеля



Микроструктура материала ТУМаН

Общий вид разрушенных после испытаний макетов термомеханического соединения трубопроводов диаметром 12 мм, изготовленных из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Средняя несущая способность соединения муфтами из никелида титана составила 200 МПа при коэффициенте вариации 10 %

Стенд для получения микросфер



а *б* *в*

Мишени для ЛТС:
а – простая мишень прямого облучения – стеклянная микросфера ∅ 150 мкм, наполненная до давления 50 атм изотопами водорода;
б – мишень с внутренним вводом излучения (внутренняя микросфера такая же, как в случае а, внешняя – конвертор лазерного излучения из полистирола ∅ 1000 мкм, на ее поверхности вырезаны по контуру остросфокусированным технологическим лазером четыре окна ∅ 300 мкм для ввода излучения); в – мишень с внутренним вводом излучения, состоящая из 3 полистирольных конверторов

Для проведения во **ВНИИЭФ** исследований по лазерному термоядерному синтезу в 70-е годы во все возрастающем количестве потребовались миниатюрные контейнеры термоядерного горючего – микромишени. Микромишень представляет собой сферическую стеклянную микрооболочку диаметром 150–200 мкм с толщиной стенки 1–2 мкм (при равномерности этого размера в пределах 1 % от толщины), заполненную эквимолярной газообразной смесью дейтерия и трития до внутреннего давления 50 атм.

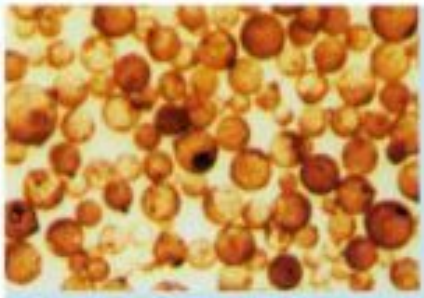
Исключительно жесткие требования к качеству микромишеней потребовали разработки специальных подходов, методик и оборудования для изготовления таких микросфер. Основным физическим принципом в технологии полых микросфер является вспенивание исходных микрочастиц в полете через вертикальную трубчатую печь. Исходные частицы вещества должны содержать легкокипящий или разлагающийся компонент – газообразователь, который, выделяя газ в высокотемпературной части печи, раздувает частицу в оболочку при достижении ею вязкотекучего состояния. Среди технологов, занимавшихся развитием этого направления, прежде всего назовем В. С. Дрожжина и М. Д. Куваева. Для исследования процессов образования микросфер были разработаны трубчатые модули печи различных конструкций. Далее на этой основе был создан специальный стенд с температурой до 2000 °С, скоростью полета частиц в пределах от 0,01 до 1 м/с и характерным временем нагрева от 0,01 до 1 с.

Максимальная высота зоны пролета микросфер может достигать 9 м, высота высокотемпературной зоны – 1,0–4,0 м, реализуемый диапазон температур – 50–2000 °С, скорость нисходящего газового потока в печи – 0,01–1 м/с, атмосфера печи – инертный газ (гелий, аргон), давление – 102–105 Па.

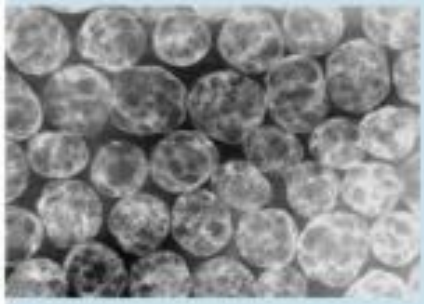
Накопленный опыт работы с микросферами позволил в начале 90-х годов обратиться к исследованиям микросфер, применяющихся в промышленности. В последние два десятилетия в индустриально развитых странах микросферы получили широкое распространение в качестве наполнителей самых различных композиционных материалов на основе полимеров, металлов и керамики, производства взрывчатых веществ. Наиболее перспективными с точки зрения возможности широкого применения, доступности сырья и низкой стоимости являются микросферы из природных силикатов.

При сжигании углей на электростанциях образуются минеральные отходы, так называемые золы уноса, которые гидротранспортными системами выводятся на золоотвалы электростанций, представляющие собой водные бассейны. Микросферы как частицы золы уноса, образовавшиеся из минеральных примесей к углям, имеют плотность менее 1 г/см^3 и скапливаются на поверхности этих бассейнов, где образуют пенные слои толщиной до нескольких десятков сантиметров. В период 1996–1998 годов специалистами технологического отделения **РФЯЦ-ВНИИЭФ** на территории Российской Федерации проведен технический мониторинг по микросферам из зол уноса. Были обследованы золоотвалы свыше 40 крупнейших электростанций России, сжигающих угли всех основных отечественных месторождений. Исследования позволили собрать уникальный, ранее не публиковавшийся фактический материал о процессах образования микросфер, скоплениях зольных микросфер на электростанциях, а также об их свойствах. На основе полученных результатов была создана специальная компьютерная программа – база данных «Зольные микросферы Российской Федерации».

Золоотвал Череповецкой ГРЭС



Микросферы из зол уноса Череповецкой ГРЭС (75-кратное увеличение)



Рентгенограмма перлитовых микросфер (100-кратное увеличение)

Технологии производства микросфер из природного сырья предназначены для получения не только зольных микросфер, но также микросфер из вспучивающихся горных пород, в частности, перлита – широко распространенной вулканической породы. Содержащаяся в перлите (до 6 % массы) кристаллизационная вода при высоких температурах выполняет роль газообразователя. В технологическом отделении исследовалось получение микросфер из перлитов России, Украины, Турции и Греции. Необходимо отметить, что важным достоинством перлитового сырья является возможность получения микросфер крайне низкой плотности, менее 0,1 г/см^3, что для стеклянных микросфер достигается с трудом.

Необычайная легкость перлитовых микросфер позволяет успешно использовать их для решения важнейшей задачи в промышленности взрывчатых веществ – создания эмульсионных взрывчатых составов. Исследования показали также, что микросферы могут быть применимы при создании материалов, повышающих безопасность изделий и конструкций. Кроме теплоизоляционного материала «Сферолит», на основе цементного вяжущего состава и микросфер создан теплоизоляционный и конструкционный материал «Сферобетон» с плотностью менее 1 г/см^3. Такие материалы могут использоваться в различных защитных контейнерных системах. На основе зольных микросфер с модифицированной ионообменными реагентами поверхностью разработаны сорбенты для очистки жидких радиоактивных отходов. Такие материалы обеспечивают комплексное решение задачи иммобилизации и консервации радиоактивных отходов.

Информационно-аналитический центр
системы мониторинга

Отделение радиационной безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ

Приказом начальника «объекта» Анатолия Сергеевича Александрова от 1 августа 1954 года была организована единая централизованная служба дозиметрии. В ее состав вошли сотрудники лаборатории дозиметрии завода № 3, сектора № 4, отдела КИП и других подразделений КБ-11. Возглавил новую службу Владимир Ильич Гришмановский. После назначения директором «объекта» Бориса Глебовича Музрукова служба дозиметрии была преобразована в научно-исследовательский отдел радиационной безопасности. С 1975 года по 1990 год его возглавлял Лев Фёдорович Беловодский, а с 1990 года и по настоящее время – Геннадий Федорович Ходалёв.

Радиационные исследования

Образование самостоятельной службы позволило создать единую методическую и аппаратурную базу дозиметрии, оптимизировать объемы проводимого контроля, исследовать факторы радиационной опасности. Вначале предполагалось, что сотрудники нового отдела будут контролировать радиационную обстановку только на рабочих местах. Однако жизнь внесла существенные коррективы в эту позицию. В институте появлялись новые установки, недостаточно изученные радиоактивные материалы, происходило ужесточение норм радиационной безопасности (годовая доза внешнего и внутреннего облучения персонала снижалась с 30 до 15 рентген, затем до 5 бэр, а в настоящее время до 20 мЗв). Все это требовало

Аварийный дозиметр ДИНГА

Рабочая панель измерительного комплекса

Автоматический пост контроля

проведения научно-исследовательских работ, совершенствования методологии, увеличения объемов контроля и создания приборно-измерительной базы.

Сотрудниками отдела совместно с другими подразделениями ВНИИЭФ и внешними организациями были разработаны системы и приборы контроля для участков, где проводились работы с тритием, плутонием и ураном. Затем удалось на порядки уменьшить выбросы на тритиевом производстве. Этот успех явился результатом совместной работы с производственниками. Он был достигнут за счет изменения технологии проведения работ, совершенствования систем коллективной и индивидуальной защиты, создания системы улавливания газовых выбросов, создания системы контроля выброса, а также контроля воздушной среды в рабочих помещениях и на установках. Это позволило снизить влияние работ с тритием на окружающую среду и население до минимально возможных уровней. Доза облучения населения в настоящее время не превышает десятой доли процента от дозы, обусловленной естественным радиационным фоном.

Проведение исследований на других участках работ показало необходимость модернизации технологического оборудования, систем коллективной и индивидуальной защиты персонала. Испытание и внедрение слабосорбирующих и легко дезактивируемых покрытий и регулярное проведение целенаправленных аварийных тренировок и обучение персонала позволили в десятки раз снизить дозовые нагрузки на сотрудников института.

Специалисты отделения дозиметрии проводят исследования на всех участках работ с радиоактивными материалами, в том числе и на заключительных испытаниях на внешних полигонах. За время работы на полигонах созданы и усовершенствованы автоматизированные системы контроля, разработаны методики измерения как экологических параметров, так и отдельных характеристик физических полей, формирующихся при испытаниях.

Среди большого числа научно-исследовательских работ отдела необходимо выделить разработки по аварийной дозиметрии. Работы с делящимися материалами, на критических сборках и исследовательских импульсных реакторах практически не были обеспечены приборами и системами аварийной дозиметрии. Разработанные приборы, проходили сличение с аналогичными приборами других разработчиков, в том числе иностранных фирм, на установках нашего института и ВНИИТФ. Результатом разработки, выполненной совместно с целым рядом организаций (среди них были институты Министерства обороны), стали компактные индивидуальные аварийные дозиметры. В армии использовались спиральные ионизационные камеры, в настоящее время используются химические дозиметры и прорабатывается вопрос внедрения полупроводниковых дозиметров, разработанных ВНИИЭФ совместно с Институтом ядерных исследований АН Украины.

Достижения ВНИИЭФ в области аварийной дозиметрии легли в основу современной концепции системы аварийного гамма-индивидуального нейтронного контроля (САГНИК) и нашли свое отражение в отраслевых методических указаниях по вопросам организации аварийного контроля на предприятиях отрасли.

В результате исследований определены дозиметрические характеристики твердотельных детекторов на основе высокоомного кремния, показана возможность использования полупроводниковых

детекторов в качестве аварийных дозиметров ДИНГА, а также создана измерительная система аварийных дозиметров на базе персонального компьютера и программного обеспечения фирмы «National Instrument».

Отделом радиационной безопасности разработаны новые и усовершенствованы имеющиеся методики контроля внутреннего и внешнего облучения человека, что позволило безболезненно перейти в институте на современные жесткие нормы по дозе облучения персонала (20 мЗв или 2 бэр/год).

Исследования по влиянию работ института на окружающую среду традиционны для сотрудников отделения радиационной безопасности и охраны окружающей среды (так с мая 1997 года согласно приказу директора РФЯЦ-ВНИИЭФ звучит современное название службы радиационной безопасности). В настоящее время они изучают пути фактического и возможного поступления в окружающую среду радиоактивных и химических веществ, их миграцию по всей природной цепочке, включая и человека, осуществляют контроль в подразделениях института, на территории промышленных площадок, а также в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. После известных событий в Чернобыле по приказу директора института Владимира Александровича Белугина был введен регулярный контроль в прилегающих к ЗАТО районах Нижегородской области и республике Мордовия. Хотя согласно действующим правилам радиоэкологический контроль за пределами зоны наблюдения не обязателен.

Разработан проект автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО-ВНИИЭФ), обеспечивающей непрерывное измерение мощности дозы гамма-излучения на территории г. Сарова в диапазоне от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1 мЗв/ч ($10-10^{5}$ мкР/ч). Создана первая очередь АСКРО-ВНИИЭФ в составе двух постов радиационного контроля и пункта радиационной обстановки. Выбраны места для размещения постов в г. Сарове. Проведены испытания созданной системы, которые подтвердили ее работоспособность.

Мобильный пункт дезактивации робототехнического комплекса, транспортных и других средств, используемых при проведении аварийно-восстановительных работ в условиях радиационного загрязнения

Работа в Чернобыле

Знания и опыт, приобретенные при контроле радиационной обстановки в институте и на внешних полигонах, пригодились при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. Следует с гордостью отметить, что первая вахта специалистов по дозиметрии, прибывшая в Чернобыль, была самая оснащенная и готовая немедленно приступить к работе. На «вооружении» дозиметристов было все: домик для размещения службы, единственный на все Управление строительства сейф, канцелярские принадлежности, набор дозиметрического и радиометрического оборудования (включая мобильный гамма-спектрометр), спецодежда и расходные материалы. Дозиметристы были привлечены к работам в конце мая 1986 года, затем представители нашего института более двух лет руководили отделом дозиметрического контроля в УС-605 и впоследствии «комплексной экспедицией». Работали вахтовым методом. В период работы проводились исследования по определению путей выброса радиоактивных продуктов во время аварии, распределению радиоактивных веществ по поверхностям, как полов, так и стен, на местности. Для достоверной оценки доз облучения на

Отбор проб на опытном полигоне экологического мониторинга

различных участках работ исследовался и учитывался спектральный характер излучения по площади и высоте. В обязательном порядке все строительные работы организовывались и проводились только после радиационных разведок по рекомендованному регламенту проведения работ. Это позволило избежать необоснованного облучения ликвидаторов, внести изменения в технологию работ, уменьшить объемы работ и сократить сроки их выполнения.

Для решения вопросов рекультивации загрязненных земель сотрудники отделения принимали участие в разработке и создании различных комплексов.

Экологическая деятельность

К моменту выделения отдела радиационной безопасности из состава Управления института в отделе было три лаборатории, возглавляемые В. К. Гаевым, Ю. А. Болотовым и О. Ю. Макаровым. При организации отдела 43 к нему присоединили отраслевую лабораторию по охране окружающей среды под руководством О. П. Кузнецова. В настоящее время отделение 43 состоит из четырех отделов и двух самостоятельных групп. Три отдела занимаются исследованиями в области дозиметрии. Начальником отдела по изучению радиационного загрязнения окружающей среды является С. А. Петрова; по ядерной безопасности – Е. Ю. Тарасова, по радиационной безопасности обязанности начальника исполняет М. Н. Кузнецов.

Входящий в отделение радиационной безопасности отдел охраны окружающей среды был организован в 1980 году. Отдел занимается исследованиями как в подразделениях института, так и в объектах окружающей среды, а также выполняет функции аналитической лаборатории, где изучаются все виды потенциальной опасности в подразделениях института, обусловленные как загрязненностью рабочих помещений химическими веществами, так и физическими факторами (освещенность, шум, вибрация, электромагнитные излучения и т. п.). В отделе исследуются и анализируются величины фактических выбросов и сбросов, проводится контроль воды как питьевого, так и технического назначения, изучаются состояние подземного водного бассейна, формирование выбросов и сбросов химических веществ, проводятся исследования токсичности образующихся твердых отходов, загрязненности сбрасываемых вод, состояния естественных поверхностных водоемов и рек, решаются и другие природоохранные задачи.

В состав отделения входит также базовое научно-исследовательское бюро (руководитель А. Д. Ерёмин), организованное согласно решению Минатома РФ и Минприроды РФ в 1987 году. В бюро разрабатываются системы экологического мониторинга на Центральном государственном полигоне и готовятся документы для Минатома РФ (Росатома), касающиеся обеспечения экологической безопасности проводимых на внешних полигонах работ в соответствии с современным природоохранным законодательством. Интересным и перспективным является направление работ, выполняемых сотрудниками бюро, по исследованию и прогнозированию загрязнения подземных вод, а также разработке мер по предотвращению миграции этих загрязнений в местах хранения отходов. Работы проводятся совместно с Институтом теоретической и математической физики РФЯЦ-ВНИИЭФ, Институтом математического моделирования при

Казанском государственном университете и с группой одного из академических институтов Санкт-Петербурга. Разработан уникальный программно-моделирующий комплекс (ПМК) NIMFA для численного моделирования трехмерного нестационарного потока в пористых средах (в частности, потока подземных вод) и переноса загрязнений с учетом сорбции, дисперсии и химического взаимодействия загрязненных растворов с породой. ПМК NIMFA дополняется экспертной системой, позволяющей проводить оптимизацию вариантов расчета с фактическими измерениями и осуществлять поддержку управленческих решений. В настоящее время прорабатывается вопрос ее коммерциализации в различных областях гидрогеологии и технологических процессах, связанных с фильтрацией растворов.

Интерфейс ИАЦ системы экологического мониторинга

Исследования в области биологии

Начиная с 80-х годов в отделении проводятся биологические исследования. В начале своей деятельности группа медико-радиационного регистра профессионалов-атомщиков занималась изучением влияния рутинных и сверхлетальных доз облучения на различные биологические объекты. В настоящее время проводятся исследовательские работы в области малых доз излучения, изучается их влияние на здоровье персонала с учетом целого ряда индивидуальных данных. Совместно с инструктором общей генетики проводятся исследования по изучению генетической предрасположенности к различным заболеваниям. Первая группа обследуемых уже получила индивидуальные генетические паспорта, в которых указано на какие возможные заболевания им необходимо обратить более пристальное внимание. Целью проводимых работ является разработка методики профессионального отбора и доклинического диагностирования.

Результаты научных исследований, проводимых в отделении радиационной безопасности и охраны окружающей среды, нашли свое отражение в открытых публикациях, книгах, разработанных и внедренных приборах контроля, среди которых можно назвать систему автоматизированного контроля в подразделениях института.

Поиск документа в информационно-справочной системе «Экологическая безопасность»

Метрология во ВНИИЭФ

Измерения – основной источник информации о важнейших характеристиках изделий. Со дня основания КБ-11 вопросам постановки измерений и состоянию измерительной базы в институте уделялось самое пристальное внимание.

Метрологическая служба была создана 24 мая 1951 года приказом начальника объекта А. С. Александрова. Приказом предписывалось организовать на заводах КБ-11 периодическую государственную поверку мер и приборов. Государственная поверка была поручена отделу КИП, первым начальником которого был назначен 36-летний Владимир Константинович Лупанов, имевший опыт работы в испытательном подразделении.

При руководителях ОТК на заводах КБ-11 были созданы лаборатории и пункты по ведомственной поверке приборов. Первые работы по государственной поверке выполнялись для приборов электрических измерений, затем была освоена поверка тепловых, линейно-угловых и весоизмерительных приборов.

В 1953 году отдел КИП возглавил Ананий Ильич Новицкий. Для отдела было выделено отдельное помещение в здании бывшего храма Иоанна Предтечи. В отдел приходили молодые сотрудники, расширялась номенклатура поверяемых приборов. Были созданы группы специалистов по отдельным видам измерений, цех по ремонту приборов. Уже в 1955 году началась технически сложная поверка радиоизмерительных приборов. В 1960 году была создана группа по разработке новых средств измерений для специального производства и полигонных испытаний.

Здание ОЛИТ

В 1964 году отдел переехал в новое здание на территории основной площадки. Объем работ по поверке быстро увеличивался. Специалисты отдела КИП разработали приборы теплового контроля повышенной точности, измерения импульсной мощности и энергии импульсов СВЧ, прибор для измерения интервалов времени. Специалисты отдела КИП сыграли важную роль в обеспечении измерений при полигонных испытаниях ядерных зарядов.

В 1967 году отдел КИП был преобразован в центральную научно-исследовательскую лабораторию измерительной техники (ЦЛИТ), которую возглавил Николай Андреевич Пелых. С его именем связаны интенсивный рост авторитета метрологической службы и освоение новых видов работ. В составе ЦЛИТ были образованы лаборатории по видам измерений. В 1973 году в ЦЛИТ создан отдел военной метрологии, который возглавил Г. С. Клишин. Специалисты этого отдела быстро освоили новые виды работ по метрологической экспертизе конструкторской документации в отрасли, аттестации и разработке методик выполнения измерений, аттестации испытательного оборудования. Ими были заложены основы нормативных документов отраслевой системы обеспечения единства измерений (ОСИ). Вскоре ЦЛИТ обрела отраслевые функции и была преобразована в отраслевую научно-исследовательскую лабораторию метрологии и измерительной техники (ОЛИТ).

В 70-х годах начались работы, направленные на развитие эталонной базы отрасли в области измерений ионизирующих излучений и параметров вибрации и удара. Были созданы вторичные эталоны страны по этим видам измерений. На эталонной базе и испытательных установках ОЛИТ проводились исследования и установление параметров разрабатываемых в институте и в отрасли датчиков механических величин и детекторов ионизирующих излучений. Специалисты ОЛИТ разработали параметрический ряд датчиков давления, нашедших широкое применение в экспериментальных работах института.

В 1976 году в ОЛИТ создана лаборатория автоматизации измерений, а немного позднее – лаборатория по разработке автоматизированных систем управления технологическими процессами и ремонту вычислительной техники.

Разработки ОЛИТ получили широкое признание в отрасли. Среди них – цифровые многоканальные регистраторы формы сигналов типа АР1585, АР1582, АР1613, средства сопряжения приборов с ЭВМ типа АР1640, модули передачи данных АР1596 и ряд других приборов и устройств. С участием специалистов лаборатории создано большое количество подвижных и стационарных измерительно-вычислительных комплексов различного назначения («Сигнал», «Вектор», «Колба», «Тензор», «Парк» и др.), программные пакеты обработки измерительной информации. Особую популярность приобрел программный комплекс СТАРТ-2. Многие созданные в ОЛИТ приборы и комплексы используют испытательные подразделения ВНИИЭФ.

В 1980 году лаборатория получила статус научно-исследовательского отделения, вела обширные работы в нескольких крупных

направлениях, прежде всего по поверке большой номенклатуры приборов по практически всем видам измерений и ремонту приборов и вычислительной техники. Сотрудники ОЛИТ проводили метрологическую экспертизу проектов изделий, разрабатывали новые приборы, системы и методики выполнения измерений. При активном участии ОЛИТ были созданы и внедрены прецизионные методы измерений герметичности крупногабаритных камер, освоены неразрушающие методы измерения плотности взрывчатых материалов. В лаборатории проводились измерения мгновенных значений и интегралов линейных ускорений на центробежных машинах, измерения количества газа при насыщении газовых реакторов и другие работы. Специалисты отделения неоднократно выезжали на полигонные испытания зарядов для проведения измерений на аппаратуре собственной разработки.

Усилитель электрического заряда УЗ-2

В 90-е годы, во времена перестройки, кадровый состав ОЛИТ значительно уменьшился. Многие сотрудники, особенно молодые, ушли в различные коммерческие структуры. Однако коллектив ОЛИТ смог сохранить все направления работ и обеспечить потребности института и ядерно-оружейной отрасли в области метрологии.

В 1996 году ОЛИТ возглавил кандидат технических наук Владимир Николаевич Щеглов.

Под его руководством специалистами ОЛИТ проведен большой объем работ по преобразованию деятельности метрологической службы института и метрологических служб предприятий ядерно-оружейного комплекса в связи с принятием в 1993 году нового Закона РФ «Об обеспечении единства измерений», изменившего систему метрологического обеспечения России. Были проведены научно-методические работы по созданию специального комплекса нормативных государственных документов, регулирующих метрологическую деятельность в ядерно-оружейном комплексе, создана и документально оформлена система обеспечения единства и точности измерений на оборонных предприятиях отрасли.

В условиях рынка отделение метрологии РФЯЦ-ВНИИЭФ подтвердило свою компетентность и получило аккредитацию Госстандарта России на выполнение различных видов государственного метрологического контроля и надзора. В настоящее время ОЛИТ может выполнять:

– поверку средств измерений обширной номенклатуры по всем видам измерений;

– метрологическую аттестацию методик выполнения измерений и стандартных образцов всех уровней, метрологическую экспертизу всех видов документации;

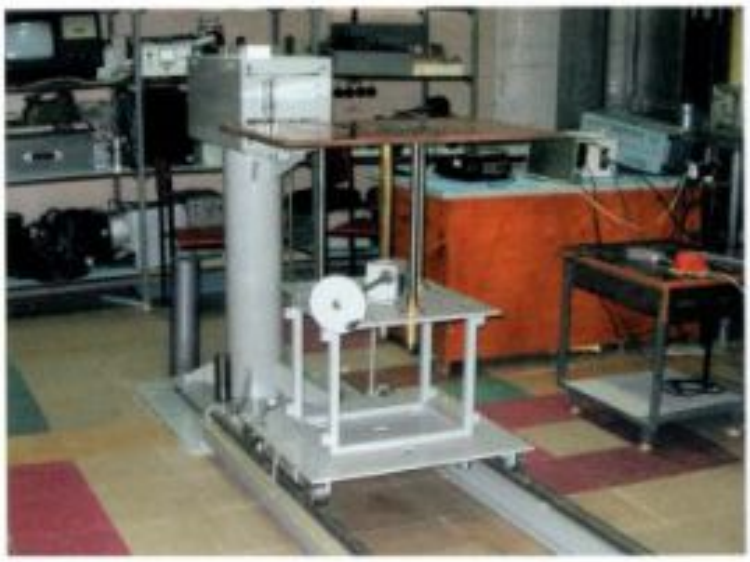
– испытания новых средств измерений с целью утверждения типа и внесения их в государственный реестр средств измерений, допущенных к применению на территории России;

– ремонт средств измерений.

Для проведения этих работ метрологическая служба института имеет эталонную базу высокого статуса. В нее входят:

– вторичный эталон страны ВЭТ-8-12 по экспозиционной дозе и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения;

– вторичный эталон страны ВЭТ 57-1 по воспроизведению ударных ускорений до 100000 g;



Эталонная установка для поверки приборов ионизирующих излучений

Эталонная установка для воспроизведения ударных ускорений

Рабочее место в бюро приемки измерительных приборов

– вторичный эталон страны по спектру и флюенсу нейтронов в виде аттестованного комплекса моделирующих опорных полей МОП-К на реакторе БР-1 в ИЯРФ РФЯЦ-ВНИИЭФ;

– испытательно-градуировочные центрифуги с воспроизведением линейных ускорений до 100 g с погрешностью 0,005 % (ИГЦ-4) и до 300 g с погрешностью 0,001 % (МСЦА-00);

– высокоточные калибраторы фирмы «Fluke» (на уровне точности государственных эталонов России) для воспроизведения электрических, температурных и радиотехнических единиц величин;

– высокоточные компараторы фирмы «Mettler Toledo» для поверки средств измерений массы.

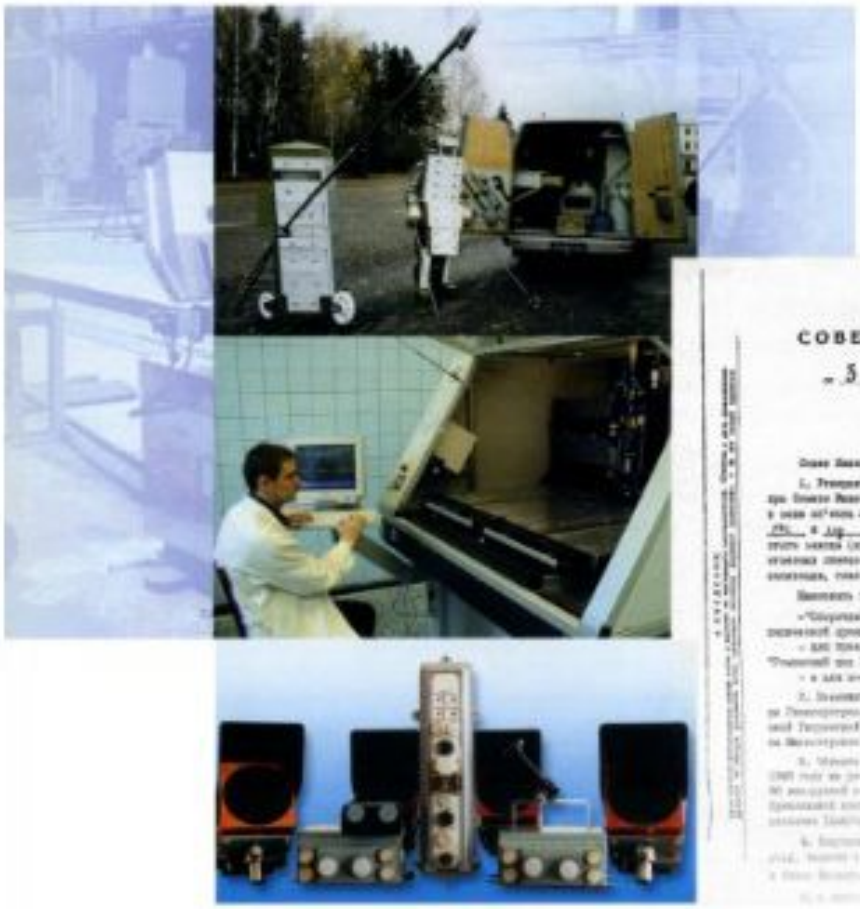
Автоматизированная система управления «Гамма»

Метрологическая служба поддерживает работоспособность 85-тысячного парка средств измерений института, совместно с подразделениями института разрабатывает и аттестует методики выполнения измерений, создает и испытывает средства измерений специального назначения, выполняет метрологическую экспертизу документации института и отрасли. В рамках Росатома ОЛИТ проводит сличительные эксперименты, без которых невозможно обеспечить единство измерений на предприятиях отрасли.

Метрологическая служба института назначена головной организацией метрологической службы ядерно-оружейного комплекса Росатома. Метрологи РФЯЦ-ВНИИЭФ представляют интересы отрасли в научно-технической комиссии по метрологии и измерительной технике Ростехрегулирования, в различных российских технических комитетах по видам измерений.

Роль метрологии в будущем должна только возрастать, поскольку расширяющийся обмен продукцией между странами требует точности в оценке их качества и единства системы измерений, проводимых производителями.

В этих преобразованиях коллектив метрологов РФЯЦ-ВНИИЭФ, доказавший свою способность выполнять сложные и ответственные работы по метрологическому контролю, может занять достойное место.



СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

постановление № [illegible]

от 5 июля [illegible] г. Москва, Кремль

О организации совместного завода Орнабасской конторы Госкомприборов СССР.

Совет Министров Союза ССР постановляет:

1. Утвердить предложение Госкомсовета Украинской ССР о организации в 1981-1990 г. в селе [illegible] Орнабасского района совместного завода на мощности [illegible] единиц [illegible] и [illegible], отчисления [illegible] из капиталовложений за отчисления этого завода (кроме стоимости оборудования, покупаемого производственного инвентаря, микропомпайтов, спорт, медицинских, заготовительных, телефонизации и связи) сумой не более 40 миллионов рублей.

Выполнить в рамках [illegible] плана:

- "Строящий цех завода специальных приборов Киевского производственного";
- для транспортировки, отгружаемой в фиксированных рамках - "Отдельный при Орнабасской конторе Госкомприборов СССР";
- в для [illegible] - "Орнабасский завод Госкомприборов СССР".

2. Возложить [illegible] на Орнабасской конторе Госкомприборов СССР [illegible] в Электронной Украинской Госкомсовета СССР [illegible], а [illegible] на Министерстве [illegible] по СССР [illegible].

3. Обязать Министерство финансов СССР [illegible] в 1980 году [illegible] Совета Министров СССР [illegible] 40 миллионов [illegible] Орнабасской конторе [illegible] Госкомприборов СССР [illegible].

4. Контроль за выполнением [illegible] Министерства СССР [illegible].

5. [illegible] Орнабасской конторе [illegible] Совета Министров СССР [illegible].

Производственная база ядерного центра

Завод союзного значения

В 1946 году постановлением Совета Министров СССР о создании КБ-11 предписывалось ввести первую очередь «объекта» уже в октябре того же года. В «первую очередь» входил и опытный завод № 1, создаваемый на базе работавшего тогда в Сарове завода № 550.

С июля 1946 года руководство опытным заводом было возложено на Н. А. Петрова, который одновременно выполнял обязанности главного инженера. Он лично курировал ход ремонта и перестройки производственных зданий, поставку и монтаж необходимого оборудования, решал кадровые вопросы. В середине ноября 1946 года приказом начальника объекта определилась первоначальная структура завода. Основой производства в те годы был первый цех — нынешний завод в миниатюре. В цехе были механический, сборочный, электромонтажный, гальванический, сварочный, лакокрасочный и заготовительный участки, а также участок пластмасс. Здесь же находилось небольшое помещение для обработки спецпродукта.

В начале 1947 года завод имел 114 станков и 89 единиц прочего оборудования, на предприятии работало 220 рабочих и 85 инженерно-технических работников и служащих.

В июле 1947 года директором завода был назначен А. К. Бессарабенко, Н. А. Петров остался главным инженером.

В это время началась интенсивная реконструкция завода. Она велась (в условиях сверхсекретности и отсутствия каких-либо конкретных данных

Здание цеха завода (конец 40-х годов)

Н. А. Петров

Е. Г. Шелатонь

о планируемой к производству продукции) по проектам Ленинградского государственного союзного проектного института (ГСПИ-11) согласно нормативам и профилю типового машиностроительного завода с единичным характером производства.

В кратчайшие сроки были введены в эксплуатацию основные цехи: механосборочный, литейно-кузнечный, инструментальный, ремонтно-механический, котельно-сварочный. В составе завода действовали заводская контрольная лаборатория, электромеханическая мастерская, технологические службы, структуры управления. В ведение завода была передана теплоэлектростанция, находившаяся на заводской территории.

В 1947 году в строй вступил и завод № 2, предназначенный для изготовления деталей из взрывчатых веществ и спецматериалов, сборки изделий, проведения химического и структурного анализа сырья, материалов и различных составов. Директором завода № 2 в июле 1947 года был назначен А. Я. Мальский.

Производственными мощностями двух заводов было обеспечено изготовление первой советской атомной бомбы РДС-1, успешно испытанной в 1949 году. В процессе отработки конструкции бомбы, изготовления отдельных элементов ядерного заряда, баллистического корпуса, узлов и приборов, системы автоматики у заводчан возникало множество сложностей, которые они успешно преодолели, за короткое время проведя целевую модернизацию оборудования и создав новые технологии.

В 50-е годы завод № 1 продолжал расширяться. В 1951–1952 годах в строй вступили несколько новых производственных зданий на заводской территории. В феврале 1952 года в связи с назначением А. К. Бессарабенко первым заместителем начальника КБ-11 по опытному производству директором завода вновь стал Н. А. Петров. Через полтора года его сменил И. И. Бирюков, приехавший из Москвы, в марте 1952 года директором завода № 2 стал Г. П. Крюков, а через два года – А. М. Комаров.

В 1954 г. на заводе № 2 были введены в эксплуатацию два прессовых комплекса, позволивших изготавливать детали из термопластичных ВВ, что стало для завода технической революцией.

В 1956–1958 годы заводам был передан целый ряд зданий и помещений, освободившихся после переездов некоторых секторов КБ-11 в новые корпуса. Вырос станочный парк, внедрялись передовые технологии.

Составление ежегодных планов организационно-технических мероприятий по развитию производства началось в КБ-11 с 1955 года. Именно тогда был создан производственно-технический совет во главе с А. К. Бессарабенко. Уже к концу 1955 года многие из намеченных мероприятий были реализованы: освоены технология изготовления заготовок методом горячей штамповки и метод глубокой вытяжки для выпуска ряда деталей, внедрена вакуумная бескислотная пайка стальных деталей, термообработка изделий из бериллиевой бронзы, обточка на электрокопировальных станках кривых поверхностей высокой чистоты и точности, автоматизирован процесс проверки узлов на электропрочность и т. д.

В 1958 году была разработана технология изготовления крупных заготовок и деталей из полиэтилена, освоенная заводом № 1. Через три года она позволила (наряду с другими уникальными технологиями и методами) в кратчайшие сроки изготовить на заводе знаменитое изделие – супербомбу, самый мощный в мире 52-мегатонный ядерный заряд, испытанный над Новой Землей. К тому времени за-

вод уже располагал мощным технологическим потенциалом, богатством методик — всем, что делало его действительно заводом номер один в Союзе.

Немало интересных примеров, характеризующих достижения коллектива завода, можно найти в отчетах, составленных Н. А. Петровым. Вот некоторые факты.

Технология изготовления деталей из стеклотекстолита, в частности изготовление из этого материала кожухов зарядов, позволила уменьшить их массу.

Большое значение имели достижения в области освоения новых типов покрытий и обработки поверхностей различных деталей. Тогда были разработаны и освоены технологии покрытия металла кадмием, медью, серебром; поверхностной закалки металлических деталей; электроизоляционного анодирования деталей из алюминиевого сплава; внедрена влагозащитная пленка для гидрированных составов.

Немалые успехи были достигнуты в разработке, освоении и внедрении новых технологических процессов, связанных с изготовлением тонкостенных оболочек из различных материалов, применением новых видов сварки. Это — штамповка тонкостенных медных оболочек большого диаметра, глубокая вытяжка крупных тонкостенных деталей, изготовление тонкостенных шаров малого диаметра из вольфрама, дуговая сварка оболочек из нержавеющей стали, метод точного литья по выплавляемым моделям.

Во второй половине 50-х годов руководство ВНИИЭФ и заводов уделяло внимание повышению эффективности работы оборудования: реализовывались меры по увеличению коэффициента сменности, модернизировались станки.

Новизна и сложность решаемых на производстве задач требовали от работников завода не только полной самоотдачи, дисциплины и организованности, но и творческой смекалки, высочайшей компетентности специалистов и руководителей. Творческий настрой коллектива проявился в десятках тысяч рационализаторских предложений.

В 1957 году директором завода № 1 стал М. А. Григорьев, в 1960 году — Е. Г. Шелатонь, проработавший на этом посту 27 лет.

Именно в это время на заводе были изготовлены и внедрены в производство уникальные технологические установки (линии) для работ со спецматериалами, которые и по сей день отвечают самым строгим современным требованиям безопасности.

В 70-е—80-е годы производственные площади завода расширились почти вдвое, были организованы цех оборудования с ЧПУ и цех радиоэлектронной аппаратуры.

Второй завод в 1960 году возглавил Б. М. Глазков, а с 1967 года в течение 17 лет этот пост занимал И. П. Колесов. Завод также наращивал темпы производства и совершенствовал технологии. В 1964 году введен комплекс зданий для дистанционной разрезки и механической обработки деталей из ВВ, в 1965 году — прессовый комплекс, позволивший значительно повысить безопасность работ. В 1964—1965 годах завершена отработка безопасного детонатора. В 1982 году расширились технологические возможности прессового комплекса, что позволило организовать работы по гидростатическому прессованию.

За эти годы коллективами производственных предприятий ВНИИЭФ был выполнен огромный объем работ высокой степени сложности:

Один из цехов по изготовлению деталей для пристрелочно-взрывной аппаратуры

Инструментальный цех

Станок для обработки печатных плат

Фрезерный станок с ЧПУ

Ленточная пила

Участок станков с ЧПУ

– изготовление опытных образцов ядерных зарядов и боеприпасов различного назначения (сотни наименований);

– выпуск сложнейших физических установок и комплексов для подразделений института;

– отработка конструкций приборов автоматики.

В 1984 году завод № 2 возглавил С. М. Бабадей – сотрудник газодинамического отделения ВНИИЭФ. Завод № 1 в 1988 году возглавил А. А. Синюков.

Конец 80-х–начало 90-х годов был трудным периодом для производственных подразделений ВНИИЭФ. Сокращался объем госзаказов, начался отток квалифицированных кадров. Руководителям заводов и ВНИИЭФ приходилось самостоятельно искать приложения производственным мощностям, чтобы дать людям работу.

В 1993 году с целью концентрации ресурсов на приоритетных направлениях работы заводы 1 и 2 были объединены. Директором объединенного завода – завода ВНИИЭФ – был назначен С. М. Бабадей. С 1995 года заводом руководит Г. В. Комаров.

В конце 90-х годов завод вступил в новую фазу развития. Этому способствовали меры государственного регулирования и усилия специалистов и руководителей завода и ВНИИЭФ.

К этому времени облик предприятия определяли следующие факторы:

– конструкторско-технологические особенности производства ядерного оружия;

– ограниченные сроки разработки и изготовления первых образцов;

– секретность работ и, как следствие, ограниченность внешней и внутренней кооперации в производстве;

– наличие опытных, высококвалифицированных кадров;

– большие материальные и финансовые ресурсы, выделяемые государством долгие годы для выполнения работ по основной тематике.

Мощная производственная база и продуманные действия руководства завода и института помогли преодолеть трудности переходного периода. Определенность в номенклатуре и объемах основной тематики, разработка и серийное изготовление ряда изделий для неядерных вооружений позволили не только стабилизировать экономическое положение завода, но и обеспечить его дальнейшее развитие.

В последние годы закуплено и введено в эксплуатацию современное программно-управляемое оборудование более чем на 300 млн. рублей. На инструментальном производстве создан участок электроэрозионной обработки. В механообрабатывающих цехах к имеющемуся оборудованию с ЧПУ добавились современные пятикоординатные обрабатывающие центры. Модернизированы средства систем автоматизированного проектирования (САПР), включая подготовку управляющих программ.

На производстве радиоэлектронной аппаратуры обновлены средства для получения фотошаблонов, фрезерования и сверления печатных плат, модернизирован парк контрольно-измерительных приборов. Разработка неядерных («обычных») вооружений стимулировала внедрение на заводе ряда новых технологических процессов – как заимствованных, так и собственной разработки. Среди них – электрохимическая размерная обработка (ЭХРО), ротационная вытяжка («раскатка») корпусов и облицовок кумулятивных зарядов, сборка оптических узлов неконтактных взрывателей, производство новых

взрывчатых составов и изделий из них. Осваивается технология поверхностного монтажа компонентов радиоэлектронной аппаратуры.

Развитие производства определено соответствующими программами, которые являются составной частью общей «Программы реструктуризации ВНИИЭФ». Программы предусматривают не только техническое перевооружение завода, но и подготовку кадров, перепрофилирование ряда цехов и участков, адаптацию существующей базы нормативно-технической документации к требованиям комплекса стандартов по вооружению и военной технике, сертификацию системы обеспечения качества.

В цехах, где расположено производство деталей и изделий, содержащих взрывчатые вещества и материалы, выделены специализированные участки. Проведены соответствующие изменения и в автоматизированной системе управления производством (АСУП). В самостоятельные разделы плана выделены работы по неядерным боеприпасам. Изменения коснулись и сферы технологической подготовки производства, которая, по сути, определяет и сроки разработки, и, в конечном итоге, себестоимость изделия.

Внедрение САПР в конструкторских подразделениях потребовало принятия соответствующих мер на заводе.

Для сокращения сроков изготовления опытных образцов изделий и освоения серийного производства технологическая подготовка на заводе проводится с помощью соответствующих средств автоматизации. В отделе проектирования технологической оснастки введены в эксплуатацию более 20 рабочих мест, на которых установлены современные программные продукты. При проектировании оснастки используют электронные модели, полученные от конструкторских подразделений. С помощью специалистов Воронежского технического университета введена в эксплуатацию система моделирования процессов ротационной вытяжки. Это позволило сократить сроки проектирования оснастки и отработки технологических режимов.

Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ (для изготовления как технологической оснастки, так и для изделий основного производства) ведется с использованием электронных моделей. При этом в механообработке используется хорошо зарекомендовавший себя пакет «Гемма-3D». Аналогичная схема сквозной САПР применяется и в производстве печатных плат (фотошаблоны, сверление и фрезерование).

Практически заново был восстановлен работавший до начала 90-х годов участок изготовления пьезоэлектрических преобразователей. Сегодня действует весь технологический цикл их производства: от входного контроля исходных материалов до испытаний и контроля выходных метрологически нормируемых характеристик преобразователей.

Большое развитие на заводе получили различные виды сварки: электродуговая в среде защитных газов, лазерная, электронно-лучевая, микроплазменная и ряд других. Отработаны технологии сварных соединений самых различных материалов и их сочетаний (сталей, алюминиевых и медных сплавов, титана).

Внедряются программно-управляемые средства контроля и испытаний, ведутся работы по объединению контрольно-измерительных приборов в комплексы с управлением от ЭВМ по алгоритмам и программам, заданным разработчиком. Точность изготовления деталей со сложной геометрией контролируется на координатно-измерительных машинах.

Участок керамики. Печи

Участок оптической настройки

Продукцией завода являются также пиротехнические и взрывчатые вещества, детали из них, изделия из металла, композиционных, керамических, порошковых и пористых материалов, пластмасс и резины, аппаратура и приборы автоматики, различные узлы в микроэлектронном исполнении и оригинальные установки для физических исследований.

Лаборатории дефектоскопии, высоких давлений и контрольных испытаний и центральная заводская лаборатория обеспечивают изготовление качественной продукции, соответствующей требованиям технических заданий на стойкость к эксплуатационным механическим и климатическим воздействиям. В лабораториях проводится входной контроль компонентов радиоэлектронной аппаратуры. Входной контроль материалов (их механических свойств и химического состава) осуществляется в центральной заводской лаборатории.

Диапазон изделий, изготовляемых заводом, очень велик. По размерам образцы продукции варьируются от десятых долей миллиметра до крупногабаритных сборок физических установок.

На заводе трудятся токари, фрезеровщики, слесари МСР, радиоэлектромонтажники, операторы станков с ЧПУ, литейщики, термисты, шлифовщики, сварщики и рабочие многих других профессий. Большое внимание уделяется повышению квалификации кадров, сохранению преемственности и профессионализма в условиях высокотехнологичного производства. Одним из первых в России завод возродил конкурсы «Золотые руки», которые проводятся среди молодых рабочих на звание лучшего по профессии.

Сегодня завод по-прежнему остается многофункциональным производством, имеющим все основные технологические переделы современного машино- и приборостроения, с наибольшей долей мощности в механообработке. Завод имеет необходимые лицензии на выполнение работ и сертифицированную систему обеспечения качества продукции.

СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

Постановление Совета Министров СССР

Электромеханический завод «Авангард»

Возможность строительства серийного производства ядерных вооружений обсуждалась еще в 1947 году. Ориентировочно строительство оценивалось в 60 млн. рублей. Предполагалось, что на предприятии будут работать около 3000 человек. Перечень необходимых основных и вспомогательных цехов и лабораторий был откорректирован и подписан Ю. Б. Харитоном. В декабре 1948 года вопрос о строительстве завода обсуждали руководители атомного проекта в Москве. Итогом обсуждения стало Постановление Совета Министров СССР № 863-327 от 3.03.49, подписанное И. В. Сталиным, в котором были указаны срок строительства первого серийного завода (1949–1950 годы), место расположения – в зоне «объекта 550» – и производственная мощность – 20 единиц авиационных бомб РДС-1 в год. Завод было приказано именовать ремонтным цехом Приволжской конторы Главгорстроя СССР. Проектирование было возложено на Ленинградский Гипрострой Главгорстроя, а строительство – на Министерство внутренних дел СССР.

Третьего декабря 1949 года первым директором строящегося завода был назначен Константин Арсеньевич Володин.

Строительство завода началось летом 1949 года. Тогда же решался вопрос обеспечения нового предприятия кадрами. Они набирались в КБ-11, крупнейших научно-исследовательских институ-

тах, ведущих КБ и предприятиях страны. Привлекались и молодые специалисты – выпускники лучших вузов.

Система профессиональной подготовки рабочих, прибывающих на серийный завод (он получил номер 551), была продумана с учетом особенностей деятельности предприятия. Стажировка работников проходила на заводах 1 и 2 и в лабораториях КБ-11. Что касается специалистов, перешедших на завод из КБ-11, то они уже имели знания и опыт, приобретенные при разработке опытных образцов специзделий.

Первыми подразделениями, созданными на заводе, были отделы главного технолога, технического контроля, центральная заводская лаборатория и центральная измерительная лаборатория.

Тесная взаимосвязь со специалистами КБ содействовала быстрому промышленному освоению идей разработчиков. Но, тем не менее, серийный технологический процесс сборки атомного заряда формировался трудно – слишком многое было неизвестно и ново.

Энтузиазм, настойчивость и высокий профессионализм инженеров и технологов опытного завода и ЭМЗ «Авангард» привели к успеху: в декабре 1951 года предприятие выпустило первые три серийные атомные бомбы РДС-1. Это была серьезная победа.

Первые изделия принимала комиссия высокого ранга, которую несколько лет возглавлял Ю. Б. Харитон.

29 декабря 1951 года было принято постановление Совета Министров СССР о расширении завода № 551 и строительстве новых цехов.

После перевода в 1952 году К. А. Володина на другую работу завод некоторое время возглавлял сначала А. К. Бессарабенко, затем А. Я. Мальский. В декабре 1952 года директором серийного предприятия был назначен Валентин Викентьевич Дубицкий. Он руководил заводом, который стал называться заводом № 3 КБ-11, с декабря 1952 года до июля 1958 года. Необходимо было сформировать руководящее звено основных подразделений, организовать процесс приемки и сдачи зарядов и боевых частей. В эти годы завод выпускал атомные бомбы РДС-3 и РДС-4, термоядерное изделие РДС-37 и ядерную головную часть для баллистической ракеты 4Р.

В 1957 году руководство отрасли приняло решение о передаче завода № 3 в ведение 6-го Главного управления Минсредмаша, т. е. завод становился самостоятельным предприятием. В декабре 1966 года предприятие получило открытое наименование – электромеханический завод «Авангард».

В 1958 году В. В. Дубицкого на посту директора сменил Виктор Федорович Шатилов. Его приход совпал с наращиванием объемов серийного производства новых изделий. При новом директоре были заложены основы механизации и автоматизации сборки боевых частей и отдельных компонентов ядерного оружия. Созданное автоматизированное производство специальных безопасных детонаторов было удостоено Государственной премии.

В 1960 году директором предприятия был назначен Михаил Агеевич Григорьев. Он руководил заводом более 25 лет.

Поскольку завод № 551 был в 50-х годах единственным серийным ядерным предприятием страны, на нем отрабатывалась технология серийного производства новых ядерных зарядов и боевых частей для входящих в строй заводов этого профиля.

В 60–80-х годах главной задачей завода стало изготовление ядерных головных частей тактических ракет для сухопутных комплексов «Темп-2С», «Пионер», «Луна-М», «Точка», а также ядерного оружия морского базирования – «Москит», «Базальт», «Гранит».

Многолучевое активное инфракрасное средство обнаружения «Диалог»

Сигнально-пусковое пожарное устройство «Диабаз-БМ»

СССР международными договорами о разоружении проводилась разборка большого количества ядерных боеприпасов. Это потребовало создания и внедрения системы безопасности, охватывающей многие технологические процессы – от подготовки специзделий к транспортировке из воинских частей на завод до их разборки в специальных сооружениях, локализующих продукты возможного взрыва.

Параллельно с выполнением государственного оборонного заказа завод выполнял конверсионные работы. Определялись главные направления, разрабатывались планы, изыскивались финансовые средства для их осуществления.

Резкое сокращение объема государственного заказа заставило завод искать новые направления производства, учиться работать с потребителем. Завод начал выпускать кухонные гарнитуры, мягкую мебель, прицепы к легковым автомобилям, настольные лампы, торшеры, сцепки, поливочные комплекты, изделия из пластмассы; медицинское оборудование – «искусственную почку», перфузионные блоки, оборудование для магнитотерапии; развивалось производство техники, предназначенной для борьбы с терроризмом, и энерготранспортного оборудования.

С целью приспособить структуру предприятия к новым условиям хозяйствования на заводе были созданы финансовый отдел, отдел маркетинга, введена должность заместителя главного инженера по конверсии, а в основных производственных подразделениях появились ответственные менеджеры по гражданской продукции.

В декабре 1998 года на заводе было собрано и передано Министерству обороны РФ последнее специзделие.

К этому времени Федеральное государственное унитарное предприятие ЭМЗ «Авангард» стало современным научно-производственным многопрофильным комплексом, обладающим широким спектром технологических возможностей и высококвалифицированным кадровым потенциалом. Его специализацией стала сборка и разборка ядерных боеприпасов, а также выпуск сложных наукоемких электромеханических, электронных, радиотехнических приборов и систем.

Сейчас производственная база предприятия, расположенная на единой промышленной площадке, включает в себя:

- инструментальное производство;
- механообрабатывающее производство;
- электромонтажное и сборочное производства;
- изотопное производство.

В состав предприятия входят инженерные службы и отделы, решающие инженерно-технические задачи разработки и сопровождения конструкторской документации и обеспечивающие проведение комплексной подготовки производства изделий.

В 2000 году завод «Авангард» возглавил А. Г. Орлов, в течение десяти предыдущих лет работавший главным инженером предприятия.

В конце 2002 года на заводе завершились работы по демонтажу ядерных боеприпасов.

Страна высоко оценила труд коллектива – завод «Авангард» награжден орденом Трудового Красного Знамени, 1154 работника завода стали кавалерами орденов и медалей СССР и Российской Федерации, 28 сотрудников были удостоены Государственных премий, звание заслуженного работника отрасли получил 21 человек, почетными гражданами города избраны четверо заводчан.

В июле 2003 года завод «Авангард» вновь вошел в состав РФЯЦ-ВНИИЭФ. Его директором был назначен В. Б. Платонов.

Аппарат диализный «Ренарт-10»

Аппарат мониторной очистки кишечника

Передвижная криминалистическая взрывотехническая лаборатория

СССР международными договорами о разоружении проводилась разборка большого количества ядерных боеприпасов. Это потребовало создания и внедрения системы безопасности, охватывающей многие технологические процессы – от подготовки специзделий к транспортировке из воинских частей на завод до их разборки в специальных сооружениях, локализующих продукты возможного взрыва.

Параллельно с выполнением государственного оборонного заказа завод выполнял конверсионные работы. Определялись главные направления, разрабатывались планы, изыскивались финансовые средства для их осуществления.

Резкое сокращение объема государственного заказа заставило завод искать новые направления производства, учиться работать с потребителем. Завод начал выпускать кухонные гарнитуры, мягкую мебель, прицепы к легковым автомобилям, настольные лампы, торшеры, сцепки, поливочные комплекты, изделия из пластмассы; медицинское оборудование – «искусственную почку», перфузионные блоки, оборудование для магнитотерапии; развивалось производство техники, предназначенной для борьбы с терроризмом, и энерготранспортного оборудования.

С целью приспособить структуру предприятия к новым условиям хозяйствования на заводе были созданы финансовый отдел, отдел маркетинга, введена должность заместителя главного инженера по конверсии, а в основных производственных подразделениях появились ответственные менеджеры по гражданской продукции.

В декабре 1998 года на заводе было собрано и передано Министерству обороны РФ последнее специзделие.

К этому времени Федеральное государственное унитарное предприятие ЭМЗ «Авангард» стало современным научно-производственным многопрофильным комплексом, обладающим широким спектром технологических возможностей и высококвалифицированным кадровым потенциалом. Его специализацией стала сборка и разборка ядерных боеприпасов, а также выпуск сложных наукоемких электромеханических, электронных, радиотехнических приборов и систем.

Сейчас производственная база предприятия, расположенная на единой промышленной площадке, включает в себя:

– инструментальное производство;
– механообрабатывающее производство;
– электромонтажное и сборочное производства;
– изотопное производство.

В состав предприятия входят инженерные службы и отделы, решающие инженерно-технические задачи разработки и сопровождения конструкторской документации и обеспечивающие проведение комплексной подготовки производства изделий.

В 2000 году завод «Авангард» возглавил А. Г. Орлов, в течение десяти предыдущих лет работавший главным инженером предприятия.

В конце 2002 года на заводе завершились работы по демонтажу ядерных боеприпасов.

Страна высоко оценила труд коллектива – завод «Авангард» награжден орденом Трудового Красного Знамени, 1154 работника завода стали кавалерами орденов и медалей СССР и Российской Федерации, 28 сотрудников были удостоены Государственных премий, звание заслуженного работника отрасли получил 21 человек, почетными гражданами города избраны четверо заводчан.

В июле 2003 года завод «Авангард» вновь вошел в состав РФЯЦ-ВНИИЭФ. Его директором был назначен В. Б. Платонов.

Аппарат диализный «Ренарт-10»

Аппарат мониторной очистки кишечника

Передвижная криминалистическая взрывотехническая лаборатория

KMR1-3

Научно-исследовательский испытательный комплекс РФЯЦ-ВНИИЭФ

Строки истории

Обеспечение надежности и безопасности конструкций в эксплуатации является одной из основных задач при разработке специальной техники. Для решения этих задач в 1952 году в составе сектора 5 был создан отдел 45. Возглавила его кандидат технических наук Т. И. Геналиева. В исключительно короткие сроки (с 1958 г. по 1960 г.) была создана основа экспериментальной базы – 14 испытательных зданий – для лабораторной отработки конструкций на все виды эксплуатационных нагрузок, имитирующих реальные условия наземной и летной эксплуатации по механическим, температурным, климатическим, аварийным и несанкционированным воздействиям.

В 1960 году на основе отдела 45 приказом директора КБ-11 Б. Г. Музрукова создается специальное научно-исследовательское подразделение – сектор 15. Его возглавил кандидат технических наук Ю. Г. Карпов. Начальниками отделов нового сектора стали Б. В. Приворов, Б. А. Иванов, В. Ф. Ермилин, В. Н. Подкопаев, П. В. Федоров, В. М. Хорошкин, А. Н. Никитин, И. С. Солдатенков.

В связи с возрастающими задачами по наземной (лабораторной) отработке конструкций сектор 15 интенсивно развивался и строился под руководством и при действенной помощи Б. Г. Музрукова, Л. Д. Рябева, Е. А. Негина, Д. А. Фишмана и С. Н. Воронина. В 1974 году приказом Министра среднего машиностроения он был преобразован

Электрогидравлический вибростенд

Электродинамический вибростенд

Пневмогидравлическая ударная установка

в Научно-исследовательский испытательный комплекс **ВНИИЭФ** (НИИК, отделение 15). С 1960 г. по 1988 г. НИИКом руководил Ю. Г. Карпов, с 1989 г. по 2002 г. — кандидат технических наук Б. Ф. Смирнов, с 2002 г. его возглавляет доктор технических наук В. А. Лупина.

НИИК сегодня

Научно-исследовательский испытательный комплекс проводит экспериментальные лабораторные исследования прочности и стойкости различных изделий военного и гражданского назначений к внешним нагрузкам — механическим, тепловым и климатическим — в течение их гарантийного срока службы. Научно-технические возможности комплекса позволяют определять различные характеристики и параметры исследуемых конструкций (напряженно-деформированное состояние, взаимные перемещения деталей и узлов, уровни нагрузок, тепловые поля, динамические характеристики и т. д.). Исследования проводятся как при автономном, так и при комплексном воздействии на изделие самых разнообразных нагрузок: инерционных, вибрационных, ударных и климатических. Возможны также дистанционные испытания изделий, содержащих взрывчатые, радиоактивные вещества и делящиеся материалы.

На испытательных установках НИИКа могут быть достигнуты:

— статические нагрузки до сотен тонн;

— перегрузки в тысячи единиц при ударе;

— различные виды вибрационных нагрузок;

— арктический холод и тропическая жара, 100 %-ная влажность и солнечная радиация.

Методологическая и аппаратурная оснащенность испытательного комплекса обеспечивает:

— подтверждение многолетнего гарантийного срока службы конструкций по результатам их форсированных испытаний;

— фундаментальные исследования физико-механических и радиационных характеристик всевозможных конструкционных материалов и взрывчатых веществ;

— испытания на прочность и герметичность газовых систем различного назначения гидравликой, вакуумированием и газом;

— испытания конструкций на воздействие высокого давления одновременно с линейными, вибрационными или ударными ускорениями;

— диагностирование поврежденных конструкций и газовых систем методами рентгенографии, ультразвука, акустической эмиссии, течеискания, тензометрии и др.;

— возможность компрессии водорода, азота, аргона и других газов на передвижных установках;

— проведение необходимого объема измерений и их обработку с использованием современных измерительных и вычислительных комплексов.

Особое внимание уделяется исследованию и проверке безопасности ядерных зарядов при различных аварийных ситуациях (пожар, падение или затопление).

Методики и подходы

Научно-исследовательский испытательный комплекс имеет необходимые методики для адекватного воспроизведения эксплуатационных факторов и аварийных ситуаций в лабораторных условиях. Методики вибрационных, инерционных, тепловых и климатических испытаний базируются на комплексе отраслевых стандартов и норм прочности.

Вибрационные испытания проводятся по методикам, созданным на основе богатого экспериментального материала. Они позволяют давать заключение о вибростойкости испытуемых изделий различного назначения при разнообразных условиях их эксплуатации. Аппаратно-программный комплекс позволяет определять ресурс изделия, наиболее нагруженные места конструкции, а также оптимизировать механическую систему изделия, прогнозировать его срок службы и поведение при различных эксплуатационных вибронагрузках. Отечественное и импортное испытательное оборудование и аппаратура дают возможность испытывать конструкции различной массы на все виды реальных вибрационных нагрузок, включая режимы широкополосной, узкополосной и гармонической вибраций с заданными параметрами, а также на нагрузки виброударного характера. При этом определяется большой объем характеристик, дающий всестороннее представление о вибростойкости испытываемого изделия.

В НИИКе успешно ведутся работы в области ударных воздействий на испытываемые объекты, которыми могут быть весьма сложные крупногабаритные механические системы массой до нескольких тонн. Создан комплекс установок для проведения экспериментов по ударному нагружению в лабораторных условиях и разработаны методики проведения испытаний.

Пневмогидравлическая ударная установка используется при имитации воздействия воздушной ударной волны взрыва, нагрузок квазистатического характера и любых других ударных нагрузок, когда необходимо испытать объект с определенной формой ударного импульса и соответствующей длительностью нагружения.

Параметры ударного нагружения измеряет комплекс, регистрирующий перегрузки, деформации и перемещения. Стенды бросковых испытаний позволяют сбрасывать с заданной высоты испытываемые объекты, различные по массе и габаритным размерам, в том числе контейнеры и упаковки (в соответствии с нормами безопасности). С помощью центробежной установки можно проводить инерционные испытания изделий различной массы с линейными ускорениями различного уровня, а также осуществлять нагружения с заданными темпами роста ускорений. Измерительный комплекс регистрирует деформации и перемещения на испытываемых образцах.

Установки НИИКа для статических испытаний позволяют осуществлять нагружения с регистрацией перемещений, деформаций и усилий. Комплекс для испытаний газовых систем осуществляет технический контроль на прочность и герметичность при высоких давлениях и вакуумировании, в том числе при статическом или импульсном нагружении конструкций, на воздействие линейных ускорений, угловых скоростей, на воздействие высокого давления одновременно с линейными вибрационными или ударными ускорениями.

Центробежная установка

Пресс

Стенд для статических испытаний

Большая тепловая камера

Большая холодильная камера

Установка для гидростатических испытаний

Температурные и климатические камеры НИИКа, их техническое оснащение, автоматизированный процесс управления и измерений позволяют проводить:

– температурные испытания крупногабаритных изделий;

– резкие теплосмены и циклическое воздействие знакопеременных температур;

– моделирование нестандартного нагрева при больших потоках тепла;

– испытания изделий применительно к различным моделям аварийных пожарных ситуаций;

– длительные климатические испытания в заданных температурно-влажностных условиях.

Для испытаний конструкций самого разного типа на аварийные воздействия (различные падения, пожары и затопление) имеется целый комплекс стендов, расположенных непосредственно в НИИКе и на других площадках института.

В зависимости от размеров, массы и комплектации изделий и требований, предъявляемых к ним, используются различные бросковые стенды. Для испытаний упаковок, содержащих радиоактивные материалы, взрывчатые вещества, используется бросковый стенд, расположенный на открытой площадке. Основной объем тепловых испытаний упаковок в соответствии с требованиями МАГАТЭ проводится на стендах бассейнового типа. Для воспроизведения различных моделей пожаров используются электротермические установки – конструкции печного типа, выполненные из огнеупорного материала. Средствами нагрева в них являются сплавы типа нихрома или графита. Установки реализуют различные темпы, профили и уровни нагрева.

Для испытаний изделий наружным гидравлическим или пневматическим давлением применяется установка для гидростатических испытаний. Для обеспечения необходимых измерений при испытаниях на аварийные воздействия используется передвижной измерительный комплекс ИМП1-3, позволяющий регистрировать ускорения, деформации и перемещения, а для первичного анализа состояния конструкции – передвижной рентгенодиагностический комплекс РДК-1, оборудованный ускорителем-бетатроном МИБ 7.5.

Передвижной измерительный комплекс ИМП1-3

Передвижной рентгенодиагностический комплекс РДК-1

На далеких полигонах

На ядерных полигонах Советского Союза в течение сорока лет испытывалось самое грозное в мире оружие. Сегодня этот период отечественного ядерного проекта – уже история. Семипалатинская степь давно принадлежит независимой Республике Казахстан и является безъядерной зоной. Знаменитого полигона № 2 больше не существует. На Новой Земле ядерные испытания тоже не проводятся, но здесь выполняются другие важные работы, связанные с деятельностью ядерных центров России. Люди, которые проводят эти работы, очень хорошо знают – опыт специалистов, непосредственно работавших с ядерным оружием, не должен быть потерян. В нем сконцентрированы богатства знаний и навыков, которые накоплены за более чем полувековую историю. Добывался этот опыт героическим трудом, и растерять его нельзя.

Создание испытательных отделов

Началом истории испытательного комплекса ВНИИЭФ стала подготовка к испытанию первой советской атомной бомбы РДС-1 в августе 1949 года. Правда, тогда профессия под названием «испытатель» еще не значилась ни в каких официальных бумагах.

Постепенно, с увеличением числа испытаний, к ним привлекалось все больше специалистов КБ-11. Из них приказом директора создавались бригады, в состав которых входили и военные. Они проходили подготовку в КБ-11, в так называемой «академии полковника Назаренского».

Схема расположения объектов на Семипалатинском полигоне при испытании РДС-1

А. В. Девяткин

В 1952 году был создан сектор эксплуатации (в будущем сектор 9). Его сотрудники обеспечивали сборку и приемо-сдаточные испытания изделий типа РДС, которые тогда находились на складах КБ-11 (можно сказать, там был сосредоточен весь ядерный арсенал СССР того времени). В состав сектора входили следующие группы: эксплуатационного оборудования, стендов и аппаратуры; специального оборудования и узлов; поверочная лаборатория; учета и документации по хранению и сборке изделий.

В 1953 году сотрудники сектора выполнили большой объем работ по сборке серийных изделий РДС-3, их проверке и снаряжению, участвовали в контрольно-летных испытаниях по защите партий серийного производства. Главным событием этого года стало испытание на Семипалатинском полигоне изделия РДС-6с.

К 1955 году в КБ-11 велась успешная разработка боевого оснащения для вновь проектируемых ракет, снарядов, торпед. Количество и сложность испытаний возрастали. Для их проведения и обучения кадров понадобилось особое подразделение. В 1955 году сектор эксплуатации был преобразован в испытательный сектор № 9, основными задачами которого стали организация и проведение на внешних полигонах испытаний ядерных боеприпасов, созданных в КБ-11, и разработка для военных документации по эксплуатации ядерного оружия.

Сегодня мы с огромным уважением вспоминаем тех, кто закладывал основы испытательного сектора. Это военные и сотрудники КБ-11 С. Н. Попов, В. П. Буянов, И. И. Зайцев, М. М. Авилкин, И. Ф. Турчин и многие другие. Поступали в сектор и молодые специалисты — Г. Н. Дмитриев, А. В. Веселовский, В. А. Грубов, А. А. Множинский, А. В. Девяткин, В. П. Евланов, ставшие в дальнейшем руководителями больших коллективов КБ-11.

Расширялся фронт работ, росло число задач, более четко определялась специализация сотрудников. С 1955 по 1962 годы была проведена большая серия испытаний на Семипалатинском и Новоземельском полигонах. Всего сектор 9 в этот период провел более ста натурных испытаний экспериментальных зарядов (в том числе самого мощного, 50 Мт — 30.10.61), 2 натурных испытания ядерной торпеды (21.09.55, 10.10.57), первые натурные испытания ядерных боеприпасов (ЯБП) (с наземным взрывом) в ракетном пуске ракеты Р-5М (02.02.56), воздушные натурные испытания ЯБП ракеты Р-12 (06.10.61), 4 космических ядерных взрыва, обеспеченных пусками серийных ракет Р-5М и Р-12 (27.10.61 (дважды), 22.10.62, 28.10.62).

В 1959 году в связи с разработкой Договора о запрещении ядерных испытаний в трех средах (в атмосфере, космосе и под водой) в КБ-11 началась подготовка к проведению подземных испытаний. По этой причине, а также вследствие крупных структурных изменений в КБ-11 в 1960 году в составе созданного тогда же КБ-1 был образован сектор внешних испытаний, получивший номер 14. Дальнейшие (подземные) испытания ядерных зарядов осуществлял сектор 14, а сектор 9 переключился на отработку ЯБП, постановку на боевое дежурство и научное сопровождение эксплуатации ЯБП в составе комплексов вооружения всех родов войск Советской (Российской) Армии. Номенклатура испытательных полигонов (и эксплуатирующих войсковых частей), где работали сотрудники отделения 9, расширилась от западных границ СССР до Камчатки, от Заполярья до Кушки и простиралась даже в районы акватории Тихого океана (при пусках МБР на предельную дальность).

Начальником нового сектора стал А. И. Веретенников, его заместителем – И. Ф. Турчин. Отделы, входящие в состав сектора, возглавили Л. Н. Дмитриевский, Б. П. Кумпан, Е. А. Снопков и О. К. Сурский.

Сектор 9, часть сотрудников которого перешла в сектор 14, вошел в состав КБ-2 и должен был обеспечивать летно-конструкторские испытания ядерных боеприпасов. Поскольку в 1963 году атмосферные ядерные взрывы на полигонах СССР были запрещены, основная тяжесть работ по подготовке и проведению испытаний с этого времени легла на сектор 14. В 1949–1962 годах, когда создавался ядерный потенциал Советского Союза, обеспечивший нашей стране статус ядерной сверхдержавы, было проведено 221 ядерное испытание, из них 216 атмосферных. На 1962-й год приходится абсолютный максимум количества ядерных испытаний за все сорок лет их проведения.

Первый подземный ядерный взрыв в СССР был проведен 11 октября 1961 года в штольне на Семипалатинском полигоне.

Г. Н. Дмитриев

Спектр задач, особенности работы

Испытание ядерного заряда – это сложнейший комплекс самых разных операций. Это не только практически полная сборка заряда в институте, но и тщательное, до мелочей, планирование работы на полигоне – от общих схем проведения опыта до вопросов снабжения. Это изготовление всего необходимого оборудования и его отладка, разработка редакции опыта, автоматики управления опытом, конструкции установки, в которой будет размещен заряд для испытания. Все необходимые действия, их последовательность закреплялись в специальных инструкциях. Так годами отрабатывалась технология проведения испытаний.

Особой задачей являлось создание приборной базы. Сигнал на подрыв заряда обеспечивала аппаратура, в разработке которой самое непосредственное и активное участие принимали сотрудники КБ-1. Другие приборы фиксировали различные характеристики процессов, происходящих при ядерном взрыве, без которых испытание можно считать проведенным впустую. Обработка результатов измерений позволяет получить необходимые данные для создания новых и совершенствования имеющихся зарядов. Такая сложная и ответственная работа может быть выполнена только при наличии точной и надежной автоматики. Ее нужно спроектировать, изготовить, отладить, настроить, предусмотреть возможные сбои и предупредить их. А на полигоне – напряженные дни, бессонные ночи, волнения, перегрузки, сюрпризы, которые никак нельзя назвать приятными. И все это – суть работы испытательного сектора.

В. А. Грубов

Важнейшие этапы

Ф. М. Гудин, с 1988 по 2002 годы возглавлявший отделение 14 РФЯЦ-ВНИИЭФ, ныне заместитель начальника отделения, вспоминает:

«В истории деятельности сектора 14 можно выделить несколько этапов. Первый из них – 1960–1963 годы: воздушные испытания

А. И. Веретенников

И. Ф. Турчин

на Семипалатинском полигоне, разработка технологии подземных ядерных испытаний, первый подземный ядерный взрыв.

Второй этап – 1964–1975 годы. Запрещение ядерных испытаний в трех средах, переход к подземным испытаниям. Совершенствование технологии ядерных испытаний. Проведение испытаний в скважинах. Групповые испытания. Облучательные опыты. Начало подземных испытаний на Новоземельском полигоне. Работы в народнохозяйственных целях («мирные» опыты).

Третий этап – 1976–1990 годы. Выполнение Договора об ограничении мощности ядерных испытаний и проведение интенсивных подземных ядерных испытаний. Продолжались и физические опыты.

И, наконец, четвертый этап – 1991–2004 годы. Ядерные испытания запрещены, проводятся только неядерно-взрывные эксперименты. Для испытателей этот период стал наиболее трудным, поскольку под угрозой оказалось существование целых отраслей промышленности, которые обеспечивали проведение испытаний. И наше отделение в эти годы пережило серьезные трудности, с которыми коллектив справился.

За время своего существования испытатели сектора (с 1970 года – отделения) провели 24 воздушных испытания. Из 496 подземных ядерных испытаний СССР более половины (268) обеспечены нашим отделением.

Важным направлением работ стали групповые ядерные испытания. Технология этого направления была впервые реализована специалистами сектора 14. Всего испытательное отделение провело 86 групповых испытаний, при этом испытав 245 ядерных зарядов, максимальное количество испытанных в одной штольне – восемь. Для сравнения скажем, что США провели 63 групповых испытания, в которых взорвали 158 ядерных устройств, при максимальном количестве зарядов в одной штольне – шесть.

С 1965 по 1979 годы отделение провело 29 опытов в интересах народного хозяйства. В их задачи входило:

- создание искусственных водоемов;
- интенсификация добычи нефти и газа;
- перекрытие скважин с горящими газовыми факелами;
- глубинное сейсмическое зондирование;
- создание подземных полостей для хранения нефти и газа;
- исследование провальных воронок.

Конструкторами и специалистами по схемам управления были созданы разнообразные комплексы и приборы для управления подрывом зарядов и пуском измерительной аппаратуры, а также для контроля работы автоматики подрыва заряда.

Испытательное отделение обеспечило проведение многих уникальных научных экспериментов. Среди них – 38 опытов с невзрывной цепной реакцией (НЦР), 20 физических опытов. По оценкам специалистов, уникальная технология проведения подземных физопытов по исследованию действия поражающих факторов ядерного взрыва (так называемые облучательные опыты), разработанная с участием испытателей, намного превосходит по своим функциональным возможностям американские аналоги и имеет на порядок меньшую стоимость.

Для того чтобы обеспечить проведение облучательных опытов, сотрудники отделений 1, 3, 4 и 14 и КБ-2 отработали конструкции установок со специальными защитными сооружениями и каналами вывода излучений (КВИ). Среди этих разработок – взрыв-затворы

четырех модификаций, падающие заглушки, входные секции, автозатворы, вакуумные и гелиевые КВИ, конструкции с применением тяжелого бетона.

После подписания Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний ВНИИЭФ приступил к проведению неядерно-взрывных экспериментов. Специалисты отделений 1, 5, 14, 17, ИФВ и ИЯРФ разработали технологию проведения таких экспериментов. Всего, начиная с 1996 года по настоящее время, было проведено 24 гидродинамических эксперимента с макетами ядерных зарядов, 20 исследовательских взрывных экспериментов с образцами делящихся материалов и 9 опытов по исследованию радиоактивного загрязнения местности в случае гипотетической ядерной аварии. Подготовка и проведение этих работ сопровождались обоснованием и разработкой организационных и технических мер экологической безопасности. С этой целью в отделении 14 было разработано семейство взрывозащитных камер и комплекс других технических устройств».

Ф. М. Гудин

Памятные даты

Перелистаем календари работ испытательного отделения.

1960–1961 годы – разработка технологии подземных ядерных испытаний.

11 октября 1961 года – первый подземный ядерный взрыв.

15 января 1965 года – первый ядерный взрыв в скважине.

30 марта 1965 года – первый групповой взрыв в двух скважинах и первый взрыв по программе интенсификации добычи нефти.

22 апреля 1966 года – первый ядерный взрыв по созданию полостей в массиве каменной соли.

30 сентября 1966 года – первое применение ядерного взрыва для перекрытия скважин газовых фонтанов.

6 октября 1967 года – создание полостей для подземных газовых хранилищ.

21 октября 1967 года – первый групповой ядерный взрыв (2 изделия) в двух штольнях (Северный испытательный полигон, архипелаг Новая Земля).

7 ноября 1968 года – первый групповой ядерный взрыв (3 изделия) в одной штольне (Новоземельский полигон).

2 и 8 сентября 1969 года – эксперимент «Грифон»: применение ядерного взрыва для интенсификации добычи нефти и газа.

14 октября 1969 года – одновременный подрыв трех ядерных зарядов: двух в одной штольне и третьего – в другой (Новоземельский полигон).

6 декабря 1969 года – первый ядерный взрыв с целью исследования провальных воронок.

6 июля 1972 года – первый специализированный облучательный опыт «Метро».

10 декабря 1972 года – первый групповой ядерный взрыв в двух штольнях на Семипалатинском полигоне.

12 декабря 1973 года – испытание четырех ядерных зарядов в одной штольне на Новоземельском полигоне (самое мощное подземное испытание в СССР).

30 января 1974 года – групповое испытание трех ядерных зарядов с разновременностью подрыва более 0,1 с (Семипалатинский полигон).

Участники морской экспедиции на палубе корабля «В. Пикуль», 2004 год

29 августа 1974 года – первое групповое испытание пяти ядерных зарядов в одной штольне (Новоземельский полигон).

23 августа 1975 года – первый групповой ядерный взрыв с максимальным (восемь) числом зарядов (Новоземельский полигон).

17 декабря 1978 года – первый групповой ядерный взрыв в скважине (Семипалатинский полигон).

16 сентября 1979 года – «мирный» взрыв «Кливаж» для предупреждения выбросов угольной пыли и метана.

11 октября 1980 года – облучательный опыт «Динамика-80» с совместным подрывом ядерных зарядов в двух штольнях и синхронным подрывом заряда с невзрывной цепной реакцией (Новоземельский полигон).

5 сентября 1989 года – облучательный опыт на испытательном комплексе «Сияние» с применением транспортабельного импульсного генератора «Колба» (Семипалатинский полигон).

24 октября 1990 года – групповое испытание восьми ядерных зарядов в штольне, последнее ядерное испытание Советского Союза (Новоземельский полигон).

За заслуги при подготовке и проведении испытаний новой техники три сотрудника отделения удостоены Ленинской премии СССР, одиннадцать – Государственной премии СССР, два – премии Правительства РФ, один – премии им. Г. К. Жукова. Двум сотрудникам отделения присвоены звания «Заслуженный машиностроитель РФ», одному – «Заслуженный конструктор РФ». Двадцать восемь сотрудников отделения награждены орденами СССР и Российской Федерации.

Расскажем подробнее о некоторых важных направлениях исследовательской и практической работы, в которых испытатели принимали активное творческое участие. Эти материалы позволят представить атмосферу творческого сотрудничества и взаимопонимания между специалистами различных подразделений ВНИИЭФ (и разных ядерных центров), которая была характерна для периода проведения натурных испытаний.

Газодинамические исследования на ядерных полигонах

Метод грунтового шара. После запрещения воздушных испытаний ядерных зарядов (1962 год) оказалось, что в условиях подземных взрывов у нас не было полноценного метода определения мощности термоядерных зарядов. Многие искали выход из ситуации, и быстрее всего нашел его М. А. Подурец, сотрудник первого теоретического отделения. Он предложил так называемый гидродинамический метод определения энергии взрыва, по которому мощность заряда определяется из сопоставления расчетных и экспериментальных параметров ударной волны, распространяющейся по массиву горной породы, в которой проводится испытание заряда. В дальнейшем были предложены и другие способы определения мощности, но гидродинамический метод (вскоре он стал называться методом грунтового шара – МГШ) оказался самым универсальным. Он использовался для определения мощности зарядов

Понтон с испытательной установкой и надводный кабель

любого класса и был самым наглядным по своей физической сущности.

Отработка метода началась в конце 1964 года. Масштабность работы, сжатые сроки, неясность большинства вопросов – все это делало отработку МГШ сложной и вместе с тем интересной.

Исследователям удалось в течение года не только понять, как и что надо измерять, но и выполнить основные разработки. Они обосновали и реализовали электрическую схему измерений, систему измерительных датчиков в условиях воздействия на них давлений ударных волн, подобрали необходимую регистрирующую аппаратуру, оборудовали ею передвижной измерительный комплекс и сделали многое другое. Без помощи руководства газодинамического сектора и КБ-11, а также измерителей-методистов, газодинамиков, работников снабжения, конструкторов, мастеров и рабочих вряд ли можно было выполнить эту работу.

Семипалатинский полигон. Подготовка к испытанию ядерного заряда в скважине

В ноябре 1965 года на Семипалатинском полигоне был проведен первый опыт с применением МГШ. Не обошлось, к сожалению, без накладок, но в целом стоящие перед методикой задачи были выполнены. Проведенные в следующем году два испытания зарядов на Семипалатинском полигоне (опыт ВНИИТФ) и на Новой Земле (ВНИИЭФ) окончательно утвердили МГШ в качестве основного способа определения мощности. В течение последующих лет ни в одном из испытаний зарядов различных классов – мощностью от 3 мегатонн до десятых долей килотонны – не была потеряна информация МГШ.

Производственная площадка при подготовке ядерного взрыва в скважине. Полуостров Мангышлак, 1969 год

Через два года после начала подземных испытаний потребовалось существенно увеличить их количество. Теперь заряды испытывали не только в штольнях, но и в скважинах. Скважинный вариант дешевле штольневого, однако из-за специфики измерений, когда датчики МГШ располагаются непосредственно в забивке ствола скважины и распространение ударной волны в ней носит заведомо двумерный характер, он приводит к дополнительным трудностям при определении энерговыделения заряда.

Для калибровки двумерных программ расчета необходимы были специальные методические опыты с ядерными зарядами, в которых для определения мощности одновременно использовались и скважинная, и штольневая постановки измерений. Опыты провели ВНИИЭФ и ВНИИТФ. Вопрос о корректном учете двумерных особенностей движения ударной волны в стволе скважины был решен посредством забивки ее специальным составом.

Большие трудности методического характера возникали при использовании труб КВИ, служащих для регистрации потоков излучений испытуемого заряда. В опытах менялось количество труб, их длина и диаметр. К сожалению, трубы КВИ были не только каналами для вывода излучений к регистраторам, но фактически являлись и каналами для распространения высокоскоростных струй продуктов взрыва. Эти струи, тормозясь о конец труб, создавали там источник энерговыделения (небольшой взрыв), ударная волна от которого преждевременно выводила из строя датчики МГШ. Бороться с этими волнами, как показала практика, было невозможно и приходилось мириться с потерей части информации по МГШ. Но в целом объем информации оказывался достаточным для надежно-

Взрывозащитная камера в концевом боксе

Новая Земля

го определения энергии взрыва испытуемого заряда, и в аттестации мощности испытуемых зарядов в скважинном варианте роль измерений по МГШ также была определяющей.

Определенным этапом развития МГШ применительно к испытаниям первичных автономных зарядов явились взрывы в заполненных рапой соляных полостях полигона Азгир.

Было проведено несколько подобных взрывов. Поскольку опыты проводили в воде (или рапе), метод стал называться МВШ (метод водяного шара). В последующем опыты с использованием МВШ проводили и на других полигонах, когда заряд располагался в больших емкостях (баках), заполненных водой и установленных непосредственно в штольнях.

Исследования сжимаемости веществ в ударных волнах. С самого начала подземных испытаний те, кто проводил измерения по МГШ, отдавали себе отчет, что в их распоряжении оказался источник огромной энергии, равного которому в земных условиях просто нет. Так начались «попутные» с МГШ измерения, которые которые проводились факультативно. В результате был выполнен большой объем уникальных исследований сжатия различных веществ давлениями, существенно превышающими лабораторные значения.

Уже в первом подземном испытании с применением МГШ (1965 год) была предпринята попытка определения сравнительного сжатия системы «железо – свинец» при терапаскальных давлениях. По ряду причин попытка оказалась неудачной, но полезный опыт проведения подобных измерений был получен, поэтому уже в следующем году на Новоземельском полигоне была определена сжимаемость в системе Fe–Pb–U при давлениях выше 30 Мбар и в системе легких веществ Al–SiO_2 при давлении 20 Мбар.

В 1968 году сравнительная сжимаемость металлов в системе Pb–Cu–Cd была исследована при давлениях 15 Мбар, а двумя годами позже – при давлениях 50 Мбар. В том же году «потолок» давлений для системы Fe–Pb был поднят до давлений 52–58 Мбар.

В 1971–1975 годах была измерена сжимаемость пористых металлов – железа, меди, вольфрама и урана – при давлениях свыше 20 Мбар.

К началу 80-х годов сравнительная сжимаемость системы Fe (эталон)–Cu–Pb–Ti была исследована при давлениях 200–150 (Ti) Мбар.

В трех различных испытаниях мегатонных зарядов были определены параметры сжатия железа при давлениях 40, 50 и 100 Мбар (в лабораторных условиях аналогичные исследования удалось осуществить лишь до давлений 13 Мбар). Проведенные измерения позволили получить единую интерполяционную адиабату железа, которая была использована в качестве эталонной в методе отражения. По ней были пересчитаны на абсолютную шкалу многочисленные данные, полученные при подземных взрывах, по меди, свинцу, кадмию, урану и другим металлам.

Второй эталон – алюминий – был исследован с помощью предложенного В. А. Симоненко (ВНИИТФ) метода гамма-репера. Вначале его реализацию при давлениях в 10 Мбар осуществили сотрудники ВНИИТФ. Затем и во ВНИИЭФ удалось определить сжимаемость алюминия этим методом. Параметры алюминия были зафиксированы при давлении 17 Мбар. Полученная адиабата алюминия позволила пересчитать на абсолютную шкалу данные по кварциту, выполнить измерения по пористым металлам, плексигласу, гидриду лития и другим легким веществам.

Группа на полигоне

Проведенные в период подземных ядерных испытаний эксперименты закрепили престиж нашей страны и одновременно подтвердили ведущую роль российских ядерных центров.

Метод НЦР, исследование уравнений состояния плутония и урана, создание новых облучательных установок. С 1958 по 1989 годы на внешних полигонах было проведено 90 опытов НЦР с целью изучения различных схем атомных зарядов, получения информации о сжимаемости плутония и урана при высоких давлениях и температурах, а также для решения других задач в новых перспективных направлениях.

Использование в атомных зарядах сферического слоя мощной химической взрывчатки позволяет получать в центре заряда высокую концентрацию энергии. При этом в активной зоне (т. е. в делящемся материале) возникают высокие давления (десятки и сотни миллионов атмосфер) и плотности (~50–100 г/см^3). Эти значения недостижимы в обычных лабораторных условиях. Между тем, для разработки ядерных зарядов было необходимо знать уравнения состояния делящихся материалов. Для этого требовались исследования изэнтропической сжимаемости урана и плутония в области сверхвысоких давлений. Наиболее подходящий инструмент для исследования – сам сферический заряд. Но каким образом получать информацию о величине максимального сжатия активной зоны, расположенной в центре взрывающегося заряда?

В 1957 году Ю. М. Стяжкин, профессор Л. В. Альтшулер и академик Я. Б. Зельдович предложили метод исследования эффективности работы атомных зарядов без проведения ядерных взрывов. В 1959 году по предложению Ю. Б. Харитона этот метод получил название метода невзрывных цепных реакций (НЦР). В США аналогичный метод исследований был предложен в 1958 году и назван методом гидроядерных экспериментов.

Сущность метода состоит в том, что при срабатывании специального заряда, который может сохранять все конструктивные особенности боевого заряда, достигается сравнительно небольшая надкритичность, заведомо недостаточная для осуществления полномасштабного взрыва. По регистрируемому в эксперименте количеству нейтронов, выделившихся при протекании такой НЦР, можно судить о степени надкритичности и плотности материалов. При расчетном анализе был обнаружен огромный диапазон режима НЦР – от ~10^6 до 10^{17} нейтронов, в котором можно исследовать работу атомных зарядов без ядерных взрывов.

Важной особенностью работы заряда в режиме НЦР с точки зрения исследовательских возможностей является высокая чувствительность к достигаемым максимальным плотностям делящихся материалов. Так, например, изменение плотности активной зоны всего на 0,1–0,2 % соответствует изменению выхода нейтронов на 30–40 %, что надежно регистрируется измерительной аппаратурой. Количественная связь между зарегистрированными в опыте числом нейтронов деления и достигнутыми плотностями устанавливается с помощью гидродинамических и нейтронных расчетов испытанного заряда.

Таким образом, в опыте НЦР исследуются процессы гидродинамического сжатия активной зоны, а способ получения информации о достигнутых сжатиях – это регистрация рождающихся в активной зоне нейтронов.

Проведение многочисленных опытов НЦР при различных максимальных плотностях и уровнях тепловых составляющих до-

«Готовы к походу в штольню!»

Последнее ядерное испытание. У входа в приборное сооружение

Передвижной измерительный комплекс

Сборка оборудования в штольне

стигаемых давлений в делящихся материалах позволило в 1964 году построить уравнения состояния плутония и урана в широкой области давлений, плотностей и температур. Эти уравнения состояния успешно используются во **ВНИИЭФ** и **ВНИИТФ**.

Важным научным достижением в опытах НЦР является получение экспериментальных данных об изэнтропической сжимаемости до рекордно высоких давлений (до ~150 млн. атм) и плотностей (до ~100 г/см^3).

В 1958, 1960, 1961 и 1963 годах с целью получения уравнений состояния плутония и урана было проведено 40 опытов НЦР.

В 1962 году за участие в проведении исследований методом НЦР группа ученых **ВНИИЭФ** была удостоена Ленинской премии. В 1969 году за исследования уравнений состояния делящихся материалов методом НЦР группе ученых была присуждена Государственная премия.

В 1968 году была предложена оригинальная схема облучательной установки, где требуемые высокие уровни нейтронного и гамма-излучения достигаются наиболее простым и экономичным способом. Для этого была разработана конструкция специального заряда-облучателя, работающего в режиме НЦР, одиннадцать раз использованного в облучательных опытах.

Кроме того, было создано защитное устройство, позволившее размещать исследуемые объекты в непосредственной близости (на расстоянии менее метра) от источника излучений. Таким образом были достигнуты рекордные уровни нагружения объектов потоками нейтронов.

Создание и использование облучательной установки отмечено Государственной премией за 1977 год. В числе лауреатов премии были сотрудники **ИФВ** Ю. М. Стяжкин и Е. Я. Юрин.

В 1974 году возникла необходимость существенно (в пять и более раз) повысить выходные характеристики гамма-излучения заряда-облучателя, сохранив при этом допустимый уровень числа делений в активной зоне заряда. Задача была решена с помощью предложенного В. С. Степанюком специального устройства, конвертирующего за доли микросекунды часть нейтронного излучения заряда в гамма-излучение. Устройство применяли в шести облучательных опытах НЦР, в которых исследовались физические процессы, сопровождающие генерацию электромагнитного импульса ядерного взрыва в различной геометрии, а также стойкость к поражающим факторам ядерного взрыва крупногабаритных военных объектов (автомобильный ракетный комплекс, шахтные пусковые установки и военный корабль).

В 1980 году начались работы по созданию нового поколения уникальных физустановок с повышенным удельным выходом ионизирующих излучений сопутствующего электромагнитного импульса. Потребовалась разработка совершенно нового оригинального заряда-облучателя и защитного устройства нового типа.

Инициативные предложения заместителя генерального конструктора Московского института теплотехники Л. С. Соломонова и сотрудника отделения 3 Ю. М. Стяжкина, поддержанные руководством **ВНИИЭФ** и Минатома, позволили создать транспортабельные облучательные установки. Эта разработка успешно использовалась для испытаний стойкости крупногабаритных образцов вооружения и военной техники к нейтронному и гамма-излучениям и электромагнитным импульсам. Такой транспортабельный импульсный генератор был создан в 1983–1984 годах и впервые в истории **ВНИИЭФ** принят на вооружение Советской Армии и ВМФ.

За создание транспортабельного генератора излучений группа сотрудников отделения 3 (А. Г. Иванов, С. Ф. Маначкин, В. С. Степанюк, В. И. Цыпкин) была отмечена Государственной премией за 1985 год.

В последующие годы за работы, связанные с использованием созданных на базе метода НЦР облучательных установок, были удостоены премии Правительства РФ Н. Б. Давыдов (1996 год) и премии им. Г. К. Жукова Л. М. Тимонин, В. П. Евланов (2002 год).

Исследование стойкости изделий в подземных облучательных опытах. В 1961 году Ю. А. Романов первым заметил, что поражающее действие космического ядерного взрыва на технику можно изучать в специальных подземных ядерных испытаниях.

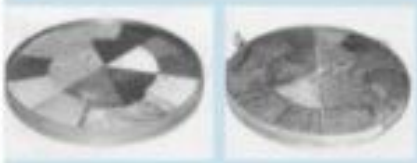
Физические облучательные опыты — наиболее сложный вид ядерных испытаний. Объекты исследований должны были только на миллионную долю секунды «увидеть» ядерный взрыв, «почувствовать» его воздействие, а затем специальная система защитных сооружений должна была надежно локализовать радиоактивные продукты взрыва и предохранить исследуемые объекты от сейсмического и других видов воздействий. Именно физические облучательные опыты наиболее ясно продемонстрировали необходимость выработки новых подходов к обеспечению безопасности испытаний, позволили выработать новые критерии, разработать и внедрить новые технические решения в практику проведения подземных ядерных испытаний.

С целью локализации продуктов ядерного взрыва (ПЯВ) в области концевого бокса и снижения до минимума выхода радиоактивных продуктов взрыва по КВИ газодинамиками ВНИИЭФ были проведены уникальные измерения основных параметров распространения ПЯВ непосредственно вблизи концевого бокса.

Проведение таких измерений в ближней зоне ядерного взрыва осложнялось мощнейшими электромагнитными и радиационными наводками. Сотрудники газодинамического отделения ВНИИЭФ совместно с сотрудниками отраслевой лаборатории измерительной техники разработали комплекс датчиков и измерительной аппаратуры, стойких к электромагнитному и радиационному воздействию. Они же создали методику выполнения измерений — ИПРПВ (исследование параметров распространения продуктов взрыва). После оперативной отработки на внутренних полигонах методика в 1975–1978 годах успешно применялась в облучательных опытах первого поколения: были измерены скорость продуктов взрыва и давления на отдельных отметках КВИ.

Первая попытка измерения механического импульса была осуществлена во ВНИИЭФ при испытании одного из изделий на Северном полигоне в 1967 году. Интенсивность излучения была очень велика, и это полностью исключало возможность размещения электроконтактных измерительных устройств в прямом потоке. Была придумана оригинальная, но достаточно громоздкая система измерительного узла.

В 1973 году впервые в облучательном опыте извлекли облученные образцы теплозащитных покрытий изделий ракетно-космической техники для дальнейшего исследования. В части «светового пятна» была помещена круглая плита, на которой располагались исследуемые образцы покрытий. Для нескольких образцов были проведены так называемые пассивные измерения величины механического импульса отдачи рентгеновского излучения.



Образцы покрытий до и после облучения

Транспортабельный генератор излучений

Взрыв-затвор после отработки на экспериментальной площадке

Совершенствование методик измерений, защита их от электромагнитных наводок позволили в последующих облучательных опытах (1975–1989 годы) измерять более «тонкие» механические эффекты воздействия излучений ядерного взрыва: полный передаваемый конструкции импульс отдачи, профиль импульса давления и т. д. Результаты исследований огромного числа образцов различных составов позволили разрабатывать теплозащитные покрытия для различных изделий.

Отдельным направлением исследований стало изучение поведения материалов при их кратковременном интенсивном разогреве излучением.

Для систем защитных сооружений специалисты ВНИИЭФ разработали ряд технических устройств.

Автозатвор – оригинальный элемент системы защитных сооружений пассивного типа, срабатывающий при изменении параметров потока. Этот элемент представляет собой консольно закрепленную разнотолщинную по длине трубу. Он закрепляется на начальном участке КВИ свободным (незакрепленным) торцом в сторону концевого бокса (навстречу потоку). Результаты динамических измерений показали, что при высокоскоростном истечении газов сквозь сечение автозатвора он теряет устойчивость и захлопывает сечение канала, пропуская лишь часть импульса.

В дальнейшем такие устройства безопасности были предложены для защиты объектов атомной энергетики и газовой промышленности.

Первые разработки взрыв-затворов были начаты в 1971 году для перекрытия стальных труб КВИ диаметром 0,4–1,0 м. Взрыв-затворы располагались в штольне за первой забивкой. Пережатие труб КВИ осуществлялось в результате взрыва цилиндрического заряда ВВ, охватывающего трубу КВИ.

С целью существенного уменьшения массы используемого в конструкции взрыв-затвора заряда ВВ он засыпался со всех сторон слоем песка. Время пережатия – порядка миллисекунды, и при этом достигалось практически полное пережатие.

В последующих облучательных опытах потребовалось пережатие труб КВИ существенно больших диаметров (около 1 м). В двух из разработанных для этого взрыв-затворах применили специальную конфигурацию ВВ. Время пережатия в таких взрыв-затворах близко к одной микросекунде. Площадь оставшихся отверстий в обжатой трубе КВИ составила примерно 0,05 % площади ее первоначального поперечного сечения.

Следует отметить, что, хотя в большинстве использовавшихся взрыв-затворов абсолютного пережатия КВИ не достигалось, применение их в облучательных опытах позволило достаточно надежно перекрыть КВИ.

Впоследствии уже для нужд нефтегазовой промышленности (системы транспортировки нефти и газа) В. А. Огородниковым с сотрудниками было разработано семейство взрыв-затворов с практически абсолютным герметичным перекрытием труб сечением от 20 до 424 мм.

Специализированные облучательные опыты. В конце 60-х годов остро встал вопрос о проведении специализированных опытов по изучению стойкости различных видов вооружений к воздействию излучений ядерного взрыва. Такие опыты стали проводить в штольнях. Облучаемые объекты располагались внутри штольни в специальных устройствах, часть из которых извлекалась после облучения.

Министр МСМ Е. П. Славский знакомится с документами во время работ по тушению горящего газового фонтана ядерным взрывом, 1966 год

Процесс извлечения был крайне рискованным, а условия штольни не давали возможности облучать крупногабаритные узлы.

Р. Ф. Трунин совместно с В. Г. Куропаткиным и М. Н. Павловским предложил упрощенную схему проведения таких опытов. Этот вариант получил название «крутая горка». Облучаемые узлы располагались на таком расстоянии от заряда-источника, где обеспечивались необходимые потоки излучений, а профиль горы выбирался так, чтобы это расстояние приходилось как раз на приустьевую площадку. Преимущество работы с облученными образцами на приустьевой площадке, когда свободен подход к облученным объектам любых габаритов, по сравнению с условиями в штольне очевидно.

Озеро Чаган

Реализация этой схемы впервые была осуществлена в 1972 году в опыте «Метро». Это был первый в стране специализированный гамма-нейтронный облучательный опыт, в котором канал излучений был выведен на дневную поверхность приустьевой площадки, где располагалось большое число облучаемых объектов (в том числе крупногабаритных). В опыте, проведенном под научным руководством В. Н. Родигина, в соответствии с программой исследований было задействовано огромное количество методик и регистрирующей аппаратуры. Только различных осциллографов в опыте использовалось более шестисот! Для предотвращения выхода радиоактивных продуктов взрыва по КВИ на приборной площадке на трубах устанавливались два специально разработанных взрыв-затвора. Всего для различных опытов было отработано около десяти типов взрыв-затворов, которые отличались массогабаритными характеристиками, конструкционными особенностями и способами пережатия КВИ. Большинство из них успешно использовалось в последующих облучательных опытах.

Горящий газовый факел. Узбекистан, 1966 год

Взрыв созидающий

Мирное использование атомной энергии — инициатива Советского Союза. К этому направлению относились не только создание и развитие атомной энергетики, но и так называемые «мирные» взрывы. Первый взрыв в промышленных целях был проведен 15 января 1965 года. Так в засушливом районе Казахстана образовалось знаменитое озеро Чаган.

Советский Союз провел более 100 ядерных взрывов в мирных целях. Двадцать девять из них — с 1965 по 1979 годы — осуществил коллектив исследователей и испытателей ВНИИЭФ. Затем, после доведения технологии проведения экспериментов до уровня, который могли освоить внешние организации, эту работу выполняло КБ АТО.

Слева направо: И. Ф. Турчин, Б. М. Бородянский, В. Д. Баторин во время тушения газового факела, 1966 год

Взрывы ядерных зарядов в мирных целях проводились для решения самых различных задач: создания искусственных водоемов и подземных полостей, перекрытия скважин с горящими газовыми факелами, интенсификации добычи нефти и газа, глубинного сейсмического зондирования. В то же время эти работы позволили получить много ценной информации о процессах, происходящих при ядерном взрыве.

РФЯЦ
ВНИИЭФ
СБ
СЛУЖБА БЕЗОПАСНОСТИ
Атомную бомбу

Служба безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ

Начало атомного проекта. Московский период

С первых дней деятельности Первого главного управления, т. е. с конца августа 1945 года, задачам сохранения государственной тайны на предприятиях и в учреждениях, входящих в систему нового ведомства, придавалось очень большое значение. По-другому тогда и не могло быть: не позволяли ситуация в мире и политическая обстановка в стране.

Знакомясь с источниками, хранящими сведения о первом периоде развития атомного проекта в СССР, нельзя не убедиться в том, какая жесткая система мер была разработана для пресечения утечки секретных данных, чем являлась практически любая информация о работах в этой области. Надо подчеркнуть также, что в те времена отношение рядовых граждан к сохранению государственных секретов было весьма ответственным и серьезным, что во многом помогало работе органов госбезопасности.

Однако быстрое разворачивание советского атомного проекта по всей стране, привлечение к решению его задач огромного числа людей зачастую приводило к размыванию понятий о том, что надо хранить в глубокой тайне, а что можно обсуждать почти открыто. Это наиболее явно проявилось в столице, где «заинтересованные» организации были сосредоточены в большом количестве, а общественная жизнь проходила особенно активно.

Надо сказать, что органы госбезопасности бдительно следили за таким развитием событий. В конце 1945 года начальник разведки П. М. Фитин рапортовал наркому госбезопасности о некоторых признаках ослабления секретности в Лаборатории № 2: многие сотрудники Академии наук, не имеющие к ней прямого отношения, осведомлены о характере ее деятельности и персонале. В связи с этим в рапорте предлагалось ходатайствовать перед вышестоящими органами о перенесении центра работ по созданию атомного оружия в какой-либо отдаленный от Москвы район страны.

14 декабря 1945 года на заседании Специального комитета был рассмотрен вопрос «Об организации Конструкторского бюро № 5» (первоначальное название КБ-11). Одним из пунктов комиссии в составе Б. Л. Ванникова, Н. Д. Яковлева, А. П. Завенягина, П. Н. Горемыкина, Ю. Б. Харитона и П. Я. Мешика поручалось в 10-дневный срок представить в Спецкомитет предложение о месте размещения КБ-5.

Уже 25 января 1946 года во время встречи В. М. Молотова, Л. П. Берии и И. В. Курчатова с И. В. Сталиным ему было доложено: «Учитывая особую секретность работ, решено организовать для конструирования атомной бомбы специальное конструкторское бюро с необходимыми лабораториями и экспериментальными мастерскими в удаленном, изолированном месте. Для размещения этого бюро намечен бывший завод производства боеприпасов (№ 550) в Мордовской АССР, в бывшем Саровском монастыре (в 75 км от ж.-д. станции Шатки, юго-восточнее Арзамаса), окруженном лесными заповедниками, что позволит организовать надежную изоляцию работ».

Решения Спецкомитета затем оформлялись в виде постановлений СМ СССР, которые подписывал И. В. Сталин. Когда же в Спецкомитете стали готовить постановление о КБ-11, задумались: хотя документ и имеет высший гриф секретности («совершенно секретно/особая папка»), но он в виде выписок пойдет по ведомствам и организациям. В этих документах будет написано, что для разработки атомной бомбы создается специальное КБ. Может произойти утечка этих сведений. А если они дойдут до разведок капиталистических стран? Поэтому Постановление СМ СССР № 805-327сс/оп от 9 апреля 1946 года «Вопросы Лаборатории № 2» выходит в зашифрованном виде. Вместо слов «разработка атомной бомбы» записано: «разработка конструкции и изготовление опытных реактивных двигателей». Профессор Ю. Б. Харитон назначается главным конструктором КБ-11 по конструированию и изготовлению реактивных двигателей.

Почему была выбрана такая зашифровка, а по сути, – дезинформация? Реактивные двигатели, как и атомная бомба, связаны с авиацией и ракетной техникой. И то и другое в СССР тоже развивается. 13 мая 1946 года И. В. Сталин подписывает постановление о создании при СМ СССР Специального комитета по реактивной технике во главе с Г. М. Маленковым. Л. П. Берия как заместитель Председателя СМ СССР курирует разработку реактивных управляемых снарядов для систем ПВО. Создание реактивной авиации и ракетной техники полностью не скроешь (самолеты и ракеты летают), вот по КБ-11 и дали дезинформацию, чтобы раньше времени не раскрыть его действительное назначение. Тем более что завод № 550, на базе которого создается КБ-11, в годы войны выпускал корпуса для реактивных снарядов «Катюша», а П. М. Зернов в мае 1945 года как уполномоченный Особого комитета ГКО СССР участвовал в отправке в СССР оборудования с немецкого завода реактивных управляемых снарядов (Ю. Б. Харитон в то время тоже был в Германии и видел кое-где надписи «хозяйство Зернова»).

В других постановлениях СМ СССР о развертывании работ в КБ-11 продолжает использоваться терминология, относящаяся к реактивным двигателям: дизельное топливо, синхронные свечи, сжатие топливной смеси и т. п. Постепенно для образцов первых атомных бомб была введена аббревиатура РДС – «реактивный двигатель вариант С-1» (с применением плутония-239) и «реактивный двигатель вариант С-2» (с применением урана-235). Сокращенно – РДС-1 и РДС-2. В постановлениях же СМ СССР это расшифровывалось так: РДС-1 – «реактивный двигатель с заправкой тяжелым топливом», а РДС-2 – «реактивный двигатель с заправкой легким топливом». Расшифровка аббревиатуры РДС как «Россия делает сама» или «реактивный двигатель Сталина» – устное народное творчество, в документах она нигде не встречается.

Следует отметить, что шифровка атомной бомбы под «реактивный двигатель» применялась в основном для Москвы, так как там, как уже упоминалось, была наибольшая вероятность утечки секретных сведений об атомном проекте.

КБ-11. Первые шаги

В КБ-11 легенда о реактивных двигателях не получила распространения, о ней знал только узкий круг руководящего состава. (Позже, как это обычно бывает, обозначение РДС прочно вошло в обиход.) Все принятые на работу сразу давали подробную подписку о неразглашении каких-либо сведений о месте и характере работы. Режим был очень строгим: в первые годы после образования объекта основную массу сотрудников за его пределы не выпускали.

После создания КБ-11 началось комплектование секретного отдела кадрами. Этим делом занялся подполковник А. В. Колесниченко, назначенный приказом по ПГУ от 4 июня 1946 года помощником начальника КБ-11 по кадрам, секретным делам и охране. На его долю выпала тяжелая работа: предстояло осуществить множество первоочередных режимных мероприятий. Это и комплектование секретного отдела (позднее он стал называться Первым), и отчуждение режимной территории, и начало создания охранной зоны, и беспощадная борьба с разглашением государственной тайны в устной и письменной форме, и многие другие задачи.

Руководящие кадры первого отдела и созданных немного позднее (в 1947 году) его спецотделений комплектовались тогда в основном из офицеров МВД и МГБ СССР. Все они имели опыт работы с секретными документами. 1 сентября 1946 года на должность начальника первого отдела КБ-11 был назначен лейтенант МВД С. В. Борискин. В Москве начала работу специально созданная «московская» группа первого отдела КБ-11, позднее ставшая спецотделением московского представительства нашего объекта. В 1946–1947 годах «московской» группе пришлось много работать по учету всей поступающей секретной документации и ознакомлению с ней руководства и ведущих ученых КБ-11: П. М. Зернова, Ю. Б. Харитона, К. И. Щелкина, Г. Н. Флерова, В. А. Турбинера, В. А. Цукермана, Л. В. Альтшулера и других, которые находились в то время в Москве.

В октябре 1946 года первый отдел начал свою работу в КБ-11. Его сотрудники разместились на первых порах в так называемом «Старофинском» поселке, в одном из домиков им была выделена комната. Кроме секретного делопроизводства на первый отдел возложили обязанности по учету всех работников, допущенных к секретным и совершенно секретным документам, а также по оформлению подписки о неразглашении государственной тайны.

17 февраля 1947 года в соответствии с Постановлением СМ СССР № 297-133сс/оп «О мерах обеспечения охраны объекта № 550» КБ-11 (под шифром «объект № 550») получило статус особо режимного предприятия. На его территории устанавливалась режимная зона общей площадью 215 км^2. Охрана объекта поручалась войскам МВД СССР, для чего был сформирован 365-й стрелковый полк внутренних войск МВД. Командиром полка был назначен подполковник С. Е. Гончаров.

Согласно постановлению в зоне вводился строгий пропускной режим. Требовалось обеспечить абсолютную секретность проводимых работ, т. е. создать такую систему, при которой бы полностью исключалась возможность проникновения на территорию объекта и в его служебные помещения посторонних лиц. Обеспечение такого порядка в режимной зоне целиком возлагалось на начальника объекта, который в этих вопросах становился единоначальником по отношению ко всем работающим. По отношению к находящимся в зоне войскам ему предоставлялись права командира дивизии. Был четко сформулирован целый ряд режимных требований, достаточно жестких, и вводились определенные ограничения на гражданские права для должностных лиц и населения.

6 июня 1947 года в Москве был подписан Акт о приеме под войсковую охрану МВД СССР периметра запретной зоны объекта № 550. Приемную комиссию возглавлял начальник объекта № 550 генерал-майор П. М. Зернов.

Периметр режимной зоны протяженностью 56,4 км, оборудованный знаками с надписью «запретная зона, вход воспрещен», был взят под контроль войск МВД. На подходящих к периметру проселочных дорогах открылись четыре контрольно-пропускных пункта (КПП), предназначенных для пропуска людей и транспортных средств на территорию объекта и для их выезда на «большую землю».

В конце февраля 1947 года первый отдел перевели в административный корпус (в «Красный дом»), он стал обслуживать управление КБ-11, конструкторский и научно-исследовательский сектора, медико-санитарный отдел и военную приемку.

В первое время особое беспокойство у руководства КБ и первого отдела вызывало разглашение секретных сведений об объекте в устной форме, а попросту «болтовня». В течение

1946–1948 годов в КБ-11 было издано немало приказов, обращающих внимание всех сотрудников на «недопустимость всякого рода болтовни о местонахождении и назначении объекта». В архивах РФЯЦ-ВНИИЭФ сохранились документы, рассказывающие о делах, связанных с нарушениями этого режимного требования. Как правило, эти нарушения являлись следствием своего рода легкомыслия и несдержанности в разговорах, но никак не злого умысла.

25 октября 1947 года помощник начальника КБ-11 по кадрам, секретным делам и охране А. В. Колесниченко по личной просьбе был освобожден от занимаемой должности. Вместо него был назначен полковник А. М. Астахов.

Объем работ в первом отделе заметно увеличивался, и приказом по ПГУ от 07.06.1949 года в КБ-11 была введена должность заместителя начальника КБ-11 по режиму и охране. Эту должность 2 июля 1949 года занял полковник В. П. Тренев. А. М. Астахов стал заниматься только кадрами. В. П. Тренев много сделал для укрепления охраны и режима на объекте, к исполнению своих обязанностей он относился очень добросовестно. В обращении с сотрудниками отличался корректностью и вежливостью, но был строг по отношению к нарушителям режима секретности.

В первые годы для зашифровки действительного наименования КБ-11 и сокрытия его причастности к работам по атомному проекту в служебной переписке применялись условные наименования: «объект № 550» и «База № 112». Девятого марта 1949 года приказом по ПГУ при СМ СССР были введены новые условные наименования ПГУ и его предприятий и организаций. ПГУ стало именоваться в переписке «Главгорстрой СССР», а КБ-11 – «Приволжская контора Главгорстроя СССР» с адресом: ст. Шатки Горьковской области. Вводились условные фамилии для руководителей Главка и директоров, ученых и руководящего состава предприятий. Так, вместо фамилии «Ванников» надо было писать «Бабаев», Зернов стал Михайловым, Харитон – Барковым (потом Булычевым), а Тренев – Петриковым. В дальнейшем эти условные фамилии время от времени менялись. В то же время для общения с местным населением, для выдачи справок рабочим и служащим объекту т. Зернова было присвоено наименование – «Завод измерительных приборов Министерства химической промышленности».

В связи с тем что заводы и подразделения КБ-11 стали выпускать специальную продукцию, имеющую гриф секретности, возникла проблема ее учета и хранения. Приказом по предприятию от 29 июня 1949 года была введена должность помощника начальника КБ-11 по хранению. На эту должность был назначен капитан И. Г. Наслузов, кандидат технических наук. На первых порах вместе с ведущими учеными КБ-11 он разрабатывал инструкции о порядке обеспечения секретности и сохранности спецпродуктов, особенно радиоактивных материалов, применительно к производственным условиям на объекте. Особенно много пришлось потрудиться И. Г. Наслузову в период подготовки и проведения испытания первой атомной бомбы. Все наиболее ответственные узлы и детали отправлялись на полигон при его участии. Во время испытаний он являлся помощником П. М. Зернова по хранению «тяжелого топлива» (т. е. основного заряда). Среди участников испытания были и другие работники Первого отдела: начальник отдела С. В. Борискин и начальник спецотделения отдела В. В. Чижов.

Постановлением СМ СССР от 29 октября 1949 года большая группа ученых и специалистов атомной отрасли была награждена высшими наградами Родины. Среди награжденных были и те, кто отвечал за режим и охрану.

Новые задания, новые люди

В январе 1951 года в составе первого отдела управления было создано 3-е отделение засекреченной телеграфной связи, начальником которого стал А. Г. Оболочков.

22 мая 1951 года в соответствии с приказом по КБ-11 начала работу специальная группа по централизованному учету спецматериалов и драгоценных металлов и контролю за их расходованием, хранением и перевозками. Начальником этой группы был назначен подполковник П. Д. Мухранов. Спецгруппа стала осуществлять методическое руководство работами по хранению и учету спецпродукции в подразделениях.

20 октября 1951 года приказом по ПГУ в составе КБ-11 был организован отдел объектов «Т», введена должность заместителя начальника КБ-11 по хранению. На эту должность был назначен полковник Н. Ф. Ериков. Он же стал начальником отдела объектов «Т», в 1952 году получившего шифр «отдел № 10».

В 1952 году на базе спецгруппы по учету спецматериалов и драгоценных металлов был создан отдел № 7, начальником которого 21.10.1952 года

стал П. Д. Мухранов. Общее руководство отделами 7 и 10 осуществлял Н. Ф. Ершов.

В первые годы существования объекта в хранилищах отдела хранился весь ядерный потенциал СССР. И только после того, как в Вооруженных силах были подготовлены свои хранилища и, главное, необходимые кадры, ядерное оружие начало передаваться в войска.

1 января 1952 года на должность начальника первого отдела КБ-11 был назначен капитан С. Ф. Жмулев.

8 октября 1952 года по путевке ПГУ на объект прибыл капитан Ю. А. Хабаров, который 10 июня 1953 года был назначен заместителем начальника первого отдела КБ-11 С. Ф. Жмулева. В ходе дальнейшей совместной работы они внесли большой вклад в дело совершенствования форм работы первых отделов, профессиональной подготовки кадров, разработки форм и системы учета секретных документов.

В сентябре 1953 года в КБ-11 был создан отдел режима. Новое подразделение с 1 сентября по 5 ноября 1953 года возглавлял А. С. Смирнов, а с 5 ноября 1953 года на должность начальника отдела режима был назначен И. П. Киреенков.

В 1953 году главным событием в КБ-11 было испытание первой советской водородной бомбы, которое успешно прошло 12 августа. В этот день на полигоне № 2 присутствовала большая группа работников режимно-секретных служб.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 4 января 1954 года за выдающиеся заслуги перед страной в деле разработки научных основ и конструкций отечественного ядерного оружия коллектив КБ-11 был награжден орденом Ленина. Одновременно государственными наградами был отмечен труд большой группы ученых и специалистов КБ-11. Среди них была и представительная группа работников режимно-секретных органов. Факт их награждения орденами и медалями подтверждал, что в первый, наиболее ответственный период становления КБ-11 (1946–1953 годы) они сделали много важного и полезного для успешного выполнения задач, стоящих перед коллективом.

26 мая 1957 года заместителем начальника КБ-11 по режиму и охране был назначен С. Ф. Жмулев. Его прежнюю должность занял капитан Ю. А. Хабаров.

Изменение режима в период оттепели

Период 1954–1961 годов в истории СССР, получивший название «оттепели», отмечен смягчением режимных ограничений в атомной промышленности.

Работы ученых КБ-11 (конечно, по чисто научным проблемам и после получения разрешения МСМ) стали печататься в открытых научных журналах. Так, в 1955–1956 годах в журнале «Атомная энергия» появились статьи Я. Б. Зельдовича, В. А. Давиденко, Б. Н. Козлова и других сотрудников объекта. В публикациях не указывалось лишь место работы авторов.

Произошла некоторая «либерализация» режимных ограничений. Был снят жесткий запрет на выезд из зоны, всем жителям разрешили выезжать из города на время отпуска. В некоторых случаях (болезнь, смерть родственников, свадьба и т. п.) стали возможны краткосрочные выезды. В исключительных случаях родителям и близким родственникам сотрудников КБ-11 разрешалось приехать в город на постоянное жительство.

В соответствии с распоряжением МСМ СССР от 5 января 1956 года работники объекта получили возможность совершать кратковременные выезды (организованным порядком) на рынок, рыбалку и охоту.

17 марта 1954 года закрытым постановлением Президиума Верховного Совета РСФСР поселку Сарова был присвоен статус города, получившего наименование «Кремлев». В открытой печати это название не употреблялось.

Во второй половине 50-х годов начались работы, связанные с необходимым техническим оснащением охраны объекта и его подразделений. Средствами охранной сигнализации и связи были оборудованы периметр городской зоны и локальные площадки заводов и мест хранения спецпродукции. Первая сигнально-заградительная система «Клен-55» для периметра городской зоны была заимствована у погранвойск. Установка этой системы заняла несколько лет, и только в 1964 году она полностью вошла в строй.

Все помещения первых отделов в секторах и подразделениях КБ-11, а также некоторые другие помещения оборудовались сигнальной и контактной сигнализацией. В работе по внедрению технических средств охраны активное участие принимали военнослужащие воинской части 3274.

С 1 января 1960 года для объекта были установлены новые условные наименования и адреса.

Директор и главный конструктор ВНИИЭФ генерал-лейтенант Е. А. Негин с делегатами от режимной службы на партконференции

КБ-11 стало называться «предприятием п/я 214». Для ОРСа, ОКСа и некоторых других подразделений КБ-11 вводились свои обозначения: п/я 53, 64 и т. д. Название «Приволжская контора Главгорстроя» с этого времени употребляться перестало. Появился и условный почтовый адрес – город Арзамас-75. Этот адрес разрешалось использовать в некоторых случаях служебной несекретной переписки и, главное, в личной переписке тех, кто имел местную прописку.

Отдел режима стремился к усовершенствованию своей работы. В системе режимно-секретных органов он занимал особое место, так как помимо организации охраны объектов, пропускного и внутриобъектового режимов, допускной работы имел дело с населением города, а это была ответственная и, прямо скажем, нелегкая задача.

24 июня 1966 года начальником отдела режима был назначен полковник Д. Я. Череп, до этого проработавший один год заместителем начальника этого отдела. Двадцать три года он успешно руководил отделом и заслужил авторитет руководства ВНИИЭФ и горожан, внес значительный вклад в совершенствование форм и методов работы. В 1972 году ему был вручен нагрудный знак «Заслуженный работник МВД СССР», в 1982 году – орден «Знак Почета».

В 1966 году руководство МСМ разрешило выдать всем жителям города постоянные зональные пропуска для свободного перемещения за зону и возвращения в город. Это новшество жители города встретили с радостью. Отделу режима пришлось провести большую подготовительную работу. Надо было оперативно сделать тысячи новых пропусков, для обеспечения их надежной и быстрой проверки на КПП-3 были оборудованы дополнительные пешеходные проходы и проездные ворота для автомашин. Все это было сделано качественно и вовремя, и жители города через 20 лет со дня образования объекта получили право на свободный выход из города в любое время.

В январе 1966 года полковника С. Ф. Жмулева перевели на работу в Управление режима и охраны МСМ. Вместо него заместителем начальника КБ-11 по режиму и охране был назначен подполковник Ю. А. Хабаров.

19 сентября 1966 года помощником главного конструктора КБ-2 С. Г. Кочарянца по режиму и начальником первого отдела сектора 6 стал В. Г. Донченко, к тому времени уже имевший большой опыт работы в секретных органах КБ-11 и завода «Авангард». Он внес значительный вклад в дело укрепления режима секретности в КБ-2.

Название изменилось, суть осталась

С 1 января 1967 года для КБ-11 были установлены новые условные и открытые наименования, почтовые и телеграфные номера:

а) условное наименование – предприятие п/я Г-4665, адрес для несекретной переписки: г. Москва, Центр 300, п/я Г-4665. По этому адресу можно было вести несекретную переписку по основной тематике;

б) открытое наименование – Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ).

Ю. А. Хабаров в 1969 году был переведен в Москву на должность начальника архивного отдела МСМ. Двадцатого марта 1969 года заместителем директора ВНИИЭФ по режиму и охране стал полковник Л. А. Золотухин, до этого (с 1966 года по 1969 год) работавший начальником отдела УКГБ по Горьковской области в городе Арзамас-16.

Умение работать с людьми, контактировать с вышестоящими органами и руководителями всех рангов позволило Льву Александровичу наилучшим образом выполнять обязанности заместителя директора по режиму и охране в течение 23 лет. При нем работа ВНИИЭФ по обеспечению режима секретности и сохранению гостайны получила новое развитие.

В конце 60-х годов в режимном управлении МСМ, да и на местах в режимно-секретной работе стало формироваться новое направление – аналитическое. Суть его сводилась к тому, что требовалось направить режимную работу в несколько иное русло: не столько фиксировать режимные нарушения, сколько их не допускать, вовремя предупреждать. Для этого надо было на ранней стадии разработок (испытаний, опытного производства) провести анализ и выявить обстоятельства и причины, которые могли привести к утечке секретных сведений.

Аналитическая группа во ВНИИЭФ стала формироваться в отделе 10 в 1967 году. На этой базе в феврале 1972 года была создана специальная научно-исследовательская лаборатория (СНИЛ).

17–18 октября 1973 года во ВНИИЭФ состоялась первая теоретическая конференция по аналитической работе, в которой приняли участие руководящий и научный состав ВНИИЭФ, руководители отдела КГБ и аналитических подразделений предприятий 5-го и 6-го Главных управлений (ГУ) МСМ. Тот факт, что такая представительная конференция состоялась во ВНИИЭФ, явился признанием заслуг первых работников СНИЛ.

Головной секретный отдел: А. А. Ушакова, М. Ф. Гирина, П. К. Данилов, В. П. Ермаков, А. П. Рогожина, В. Е. Милькова (слева направо)

Коллектив СНТО. 1978 год

В конце 1973 года вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР об усилении работы по противодействию иностранным техническим разведкам (ПД ИТР). Во исполнение этого постановления и вышедшего на основе его приказа министра в составе СНИЛ была создана группа по ПД ИТР.

Головной секретный отдел в 1971–1975 годах провел целый комплекс мероприятий по обучению кадров, занятых в секретных органах. На базе факультета повышения квалификации при вечернем отделении МИФИ были созданы курсы по изучению основ секретного делопроизводства для вновь принятых на работу сотрудников.

Начальники секретных органов и их заместители проходили обучение на спецкафедре при Центральном институте повышения квалификации Минсредмаша. Кроме того, для этих целей были организованы ежегодные семинары, проводимые Головным секретным отделом.

В течение 1976–1979 годов во ВНИИЭФ была продолжена работа по обеспечению режима секретности при счете инженерно-физических задач в математическом секторе 8. Сложность решения этой проблемы была связана в первую очередь с очень большим объемом обрабатываемой информации. Ежедневно алфавитно-цифровые печатающие устройства сектора выдавали от 7 до 10 километров бумажных выдач, которые потом на специальных тележках развозились по кабинетам теоретиков и математиков. Учесть такую массу документов, в большинстве своем закрытых, традиционными методами было просто невозможно. К решению этой проблемы подключились ученые. Они работали в комиссии под руководством заместителя научного руководителя ВНИИЭФ, начальника теоретического сектора 1 члена-корреспондента АН СССР Ю. А. Трутнева. В состав комиссии входили также работники секретных органов и 2-го и 5-го ГУ МСМ. Комиссия разработала «Заключение по вопросам сохранения гостайны и обеспечения режима секретности при счете задач на ЭВМ во ВНИИЭФ», а также предложения по дополнению «Перечня сведений, составляющих гостайну по МСМ». Подготовленные документы обеспечили единый подход к определению степени секретности информации, обрабатываемой на ЭВМ.

В 1976 году для обеспечения надлежащего учета и режима секретности при обращении с материалами счета задач в секторе 8 был создан специальный отдел технической документации. Создание этого отдела освободило секретный отдел от учета документации, связанной с обработкой информации на ЭВМ. Отделом защиты ин-

формации совместно с ведущими математиками и теоретиками была разработана и внедрена новая технология учета, хранения и уничтожения материалов счета задач.

В конце 70-х годов режимно-секретными службами ВНИИЭФ от вышестоящих органов были получены сведения о том, что американцы усилили радиотехническую разведку с позиций, расположенных на территории посольства США в Москве, а также стали устанавливать подслушивающие устройства в распределительные колодцы линий связи. Это позволило им увеличить объем перехвата открытых телеграмм и междугородных телефонных переговоров. Во ВНИИЭФ следовало ужесточить контроль за ведением междугородных служебных телефонных переговоров и за прохождением открытых телеграмм. Сократилось количество телефонов, с которых разрешалось вести междугородные разговоры из кабинета. В приемных руководителей были оборудованы кабины, где сотрудникам подразделений по разрешению руководителей можно было вести междугородные разговоры. В это время был введен официальный контроль за междугородными переговорами с записью на магнитофон.

В 1976 году СНИЛ была преобразована в специальный научно-технический отдел (СНТО).

В конце 70-х – начале 80-х годов СНТО участвовал в работе по созданию аппаратуры дистанционного обнаружения ядерных материалов, которую вели ученые и специалисты отделения 4 (руководитель разработки – начальник отдела Г. П. Антропов). Работа выполнялась совместно с Научно-исследовательским институтом импульсной техники (НИИИТ) и заводом «Молния». В итоге были разработаны радиометрические приборы СРПС-1 и СРПС-2, которые в 1980 году были применены в аэропорту «Шереметьево» для таможенного контроля во время проведения Олимпиады-80 и показали свою высокую эффективность. Впоследствии на заводе «Молния» было налажено их серийное производство, и они поставлялись тем предприятиям МСМ, где требовался контроль за ядерными материалами.

За данную разработку в 1982 году группе ученых и специалистов МСМ была присуждена Государственная премия СССР. От ВНИИЭФ премию получили Г. П. Антропов, В. А. Белов и И. Р. Митрофанов. Лауреатом премии стал также В. Н. Михайлов – заместитель директора по научной части – главный конструктор НИИИТ (будущий министр по атомной энергии РФ). Другие участники работы от ВНИИЭФ были отмечены в приказе министра.

Период перестройки

Начавшаяся эпоха «гласности и демократии» привела к некоторому пересмотру режимных требований во ВНИИЭФ и городе. В 1988 году в соответствии с новым положением значительно упростился въезд в Арзамас-16 родителей и близких родственников жителей города. Стали разрешаться разовые выезды за зону гражданам, временно проживающим в городе, сохранялись пропуска студентов, вступивших в брак за городом. В постоянные пропуска жителей города было разрешено вписывать внуков.

26 марта 1989 года было снято ограничение на ведение междугородных переговоров с квартирных телефонов. Теперь все жители города могли вести телефонные переговоры со всеми городами СССР и им могли свободно звонить родственники и знакомые из других городов. Эти мероприятия вызвали большое одобрение у горожан. Для ученых ВНИИЭФ большое значение имело полученное от министерства разрешение участвовать в международных научно-технических мероприятиях (конференциях, семинарах, симпозиумах и т. п.) за границей, несмотря на наличие самого высокого допуска к секретам.

И наконец, приказом по министерству № 237 от 17 ноября 1989 года было разрешено наименование – Всесоюзный научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ) использовать в открытой печати, на радио и телевидении. Несколько ранее, 21 марта 1989 года, вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР № 250-79 о ликвидации условных наименований оборонных предприятий в виде «почтовых ящиков».

ВНИИЭФ вышел из «подполья», начался период гласности в деятельности института.

В ноябре 1990 года в городе впервые побывала группа журналистов ряда центральных газет. Они встретились с руководством и учеными ВНИИЭФ и провели с ними беседы.

13 октября 1990 года во ВНИИЭФ впервые прибыла группа американских ученых в составе 10 человек, сотрудничающих с нашими специалистами в вопросах проведения совместного советско-американского эксперимента по контролю за проведением ядерных испытаний.

Ю. М. Якимов

Существующая ранее на объекте система режима секретности и охраны отличалась жестким административно-правовым регулированием. При этом она поддерживалась стабильным финансированием, строгим подбором работающих, специальным отбором военнослужащих, обеспечивающих охрану объекта, приоритетным снабжением. За годы «перестройки» все это было нарушено. На волне гласности и демократии стали подвергаться критике и режимные устои в городе и ВНИИЭФ.

Появление в открытой печати статей об институте и городе, визиты иностранных гостей и зарубежные командировки сотрудников института привели к тому, что все чаще и настойчивее поднимался вопрос об открытии города. Руководству ВНИИЭФ и его службе безопасности стоило немалых усилий доказать вышестоящему начальству, что это нововведение несвоевременно.

28 февраля 1992 года в Арзамас-16 прибыл Президент России Б. Н. Ельцин. За всю историю существования ВНИИЭФ это было первое посещение института руководителем страны. Подготовка к визиту Б. Н. Ельцина началась за несколько недель до его приезда. Были доставлены два правительственных ЗИЛа, на двух самолетах и поездом прибыла охрана Президента во главе с генералом А. В. Коржаковым. Во ВНИИЭФ Б. Н. Ельцин провел несколько часов. Он ознакомился с рядом крупных установок, с основными направлениями работ института, побеседовал с ведущими учеными. Побывал он и в магазине «Дружба», провел совещание в горсовете. Главным событием дня было обсуждение и подписание Распоряжения Президента РФ о присвоении ВНИИЭФ статуса Российского федерального ядерного центра (РФЯЦ). Принимал Президента России директор В. А. Белугин.

Новые службы, прежние обязанности

14 апреля 1992 года Л. А. Золотухин с поста заместителя директора по режиму и охране перешел на другую работу. Его трудовой путь во ВНИИЭФ был отмечен двумя орденами Трудового Красного Знамени (1976 и 1982 гг.), а также многими благодарностями и поощрениями от министра отрасли и руководства ВНИИЭФ. Заместителем директора РФЯЦ-ВНИИЭФ по безопасности (так была переименована должность заместителя директора по режиму и охране) был назначен Ю. М. Якимов. Юрий Минович имел большой опыт работы по обеспечению режима секретности на оборонных предприятиях Нижнего Новгорода. Ему пришлось начинать свою работу в новых, прямо скажем, тяжелых условиях. Изменения в общественно-политической жизни страны внесли существенные коррективы в деятельность режимно-секретных служб ВНИИЭФ. Теперь они занимались вопросами, которых ранее просто не было: обеспечение информационной безопасности при осуществлении международного научно-технического сотрудничества, нераспространение ядерных технологий в соответствии с международными договоренностями, создание и оснащение системами физической защиты ядерных объектов и материалов, предотвращение террористических актов на объекте.

В целях обеспечения безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ, которая определяется состоянием защищенности ядерного центра в сфере юридических, экономических и производственных отношений, материальных, интеллектуальных и информационных ресурсов, технологической и трудовой дисциплины, техники безопасности, экологии и режима секретности от внутренних и внешних угроз, 01.02.1993 года была создана Служба безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ, которую возглавил Ю. М. Якимов. Теперь его должность стала называться «заместитель директора РФЯЦ-ВНИИЭФ по безопасности, начальник Службы безопасности». В работе ему помогают его заместители А. В. Шляпугин, С. Е. Сафронов, Н. А. Оболочков, В. В. Епифановский и главный инженер СБ В. Д. Викторов.

Наряду с проблемами организации новой службы Ю. М. Якимову пришлось срочно заниматься важным вопросом, связанным с законотворчеством. Еще в конце 1991 года городские советы закрытых городов системы Минатома стали готовить Закон о закрытом административно-территориальном образовании (ЗАТО). Закон разрабатывался в Комитете Верховного Совета РФ по местному самоуправлению с привлечением депутатов закрытых городов. Когда проект закона попал на рассмотрение руководству ВНИИЭФ, то он вызвал обеспокоенность тем, что в нем органы местного самоуправления закрытых городов наделялись контрольно-распорядительными функциями в области безопасности и секретности по отношению к администрации ядерных предприятий. Этого допустить было нельзя. И директор института В. А. Белугин поручил Ю. М. Якимову подготовить обоснованные замечания и предложения по проекту закона, которые затем были направлены министру отрасли В. Н. Михайлову.

14 июля 1992 года Верховный Совет России принял Закон о закрытом административно-территориальном образовании (ЗАТО). Работа по его корректировке и внесению дополнений продолжалась. Служба безопасности принимала в этом непосредственное участие.

Постановлением Правительства РФ № 693 от 11 сентября 1996 года было утверждено Положение о порядке обеспечения особого режима безопасного функционирования предприятий и (или) объектов Министерства РФ по атомной энергии в закрытых административно-территориальных образованиях. В Положении было, в частности, записано: «Ответственность за организацию и обеспечение особого режима безопасного функционирования объекта в ЗАТО возлагается на директора объекта. Ответственность за организацию и обеспечение специальных условий проживания на территории ЗАТО возлагается на главу администрации ЗАТО».

Заботы сегодняшнего дня

В настоящее время в работе Службы безопасности большое место занимает направление по предотвращению террористических актов на объекте. Для этого по инициативе отдела УФСБ и Службы безопасности на объекте размещено и оснащено отличной базой отделение регионального антитеррористического центра ФСБ РФ, где проводится специализированное обучение сотрудников по пресечению террористических акций, в том числе ядерного терроризма. С 1993 года действует городской оперативный антитеррористический штаб с участием руководителей всех правоохранительных органов города, городской администрации и Службы безопасности института.

В целях повышения эффективности принимаемых мер и совершенствования взаимодействия правоохранительных органов с руководством РФЯЦ-ВНИИЭФ, города и Службой безопасности в городе проводятся специальные учения. В 1993 году это были учения «Саров-93». Игровая ситуация задавалась следующей: «террористы» захватили специзделие (конечно, условно). И группа спецназа ФСБ во взаимодействии со службами безопасности за очень малое время преодолела все рубежи и обезвредила «террористов». Действовали профессионалы совместно с отделом ФСБ, городской милицией, войсками, а также с теми, кто управляет техническими средствами сигнализации и защиты. На учениях ставилась и такая задача: «террористы» пересекали внешний городской периметр. Ни один из них не сумел скрыться от противостоящего им воинского формирования, и через непродолжительное время все они были обезврежены.

Естественно, что эти учения показали и некоторые слабые места в системе безопасности объекта, после чего были приняты соответствующие меры по их устранению. Подобного рода учения теперь проводятся регулярно. В учениях «Саров-99» из десяти человек, изображавших «терро-

Директор ФСБ РФ Н. П. Патрушев в музее РФЯЦ-ВНИИЭФ

ристов», девять были выявлены и задержаны. Заложенный «террористами» недалеко от Сарова, в Дивеевском районе, тайник был обнаружен еще до начала учений.

На командно-штабных учениях «Саров-2003», которыми руководил заместитель министра по атомной энергии РФ А. А. Котельников, отрабатывались действия силовых структур по пресечению несанкционированных действий в отношении ядерных материалов при транспортировке их железнодорожным и автомобильным транспортом. На них присутствовали американские наблюдатели. Учения проводились совместно с предприятием «Эзерон» и получили положительную оценку от руководства министерства.

В рамках международных обязательств

С момента создания и по настоящее время физическая безопасность материальных ценностей ядерно-оружейных технологий РФЯЦ-ВНИИЭФ обеспечивается трехуровневой системой физической защиты, системой учета и контроля ядерных материалов, специзделий и спецпродукции, что соответствует требованиям такой авторитетной организации, как МАГАТЭ.

В последние годы Службой безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ проведен значительный объем работ по улучшению физической защиты объекта с использованием средств, получаемых по каналам международного сотрудничества, собственных средств института, а также выделенных в рамках целевой общегородской программы содействия модернизации физической защиты ЗАТО.

Все это позволило ввести в постоянную эксплуатацию систему автоматизированного прохода и проезда на территорию города, систему постоянного телевизионного мониторинга на КПП, организовать стационарный и передвижной пункты выдачи зональных пропусков на основе дистанционных кодовых карт, провести реконструкцию части городского периметра

Внедрена в постоянную эксплуатацию автоматизированная система допуска на промплощадки института, особо важные зоны института оснащены современными контрольно-пропускными пунктами, эффективными средствами задержки, стационарными и ручными обнаружителями делящихся материалов.

На некоторых особо важных площадках работают системы учета, контроля и физической защиты, в составе которых действуют автоматизированные системы доступа, телевизионного наблюдения, ав-

томатизированного учета и объективного контроля ядерных материалов. Для перевозки ядерных материалов используются бронированные автомобили, оборудованные надежными средствами связи с диспетчерским пунктом РФЯЦ-ВНИИЭФ, а также оснащенные системами блокировки несанкционированного движения. Для контроля за транспортировкой ядерных материалов автомобильным и железнодорожным транспортом в институте введен в опытную эксплуатацию диспетчерский пункт, оборудованный системой радио- и спутниковой связи.

Одним из важных направлений работы Службы безопасности является обеспечение безопасности при осуществлении международного научно-технического сотрудничества. За это направление с 1996 года отвечает заместитель начальника Службы безопасности С. Е. Сафронов. Все иностранные делегации с момента их прибытия на объект и до выезда сопровождаются работниками Службы безопасности и не остаются без контроля ни на минуту.

С 1994 года на Службу безопасности была возложена работа по созданию системы экспортного контроля. Эта проблема неразрывно связана с проблемой нераспространения ядерных технологий. В соответствии с приказом директора РФЯЦ-ВНИИЭФ в составе отдела 2044 СБ была создана группа экспортного контроля. Отделом были разработаны методические рекомендации по включению требований экспорт-контроля в контракты с зарубежными заказчиками, разработано Положение о порядке организации и проведения экспортного контроля в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Работа системы внедренного экспортного контроля была рассмотрена на заседании Экспортного Совета Минатома РФ 19 апреля 1999 года и получила положительную оценку.

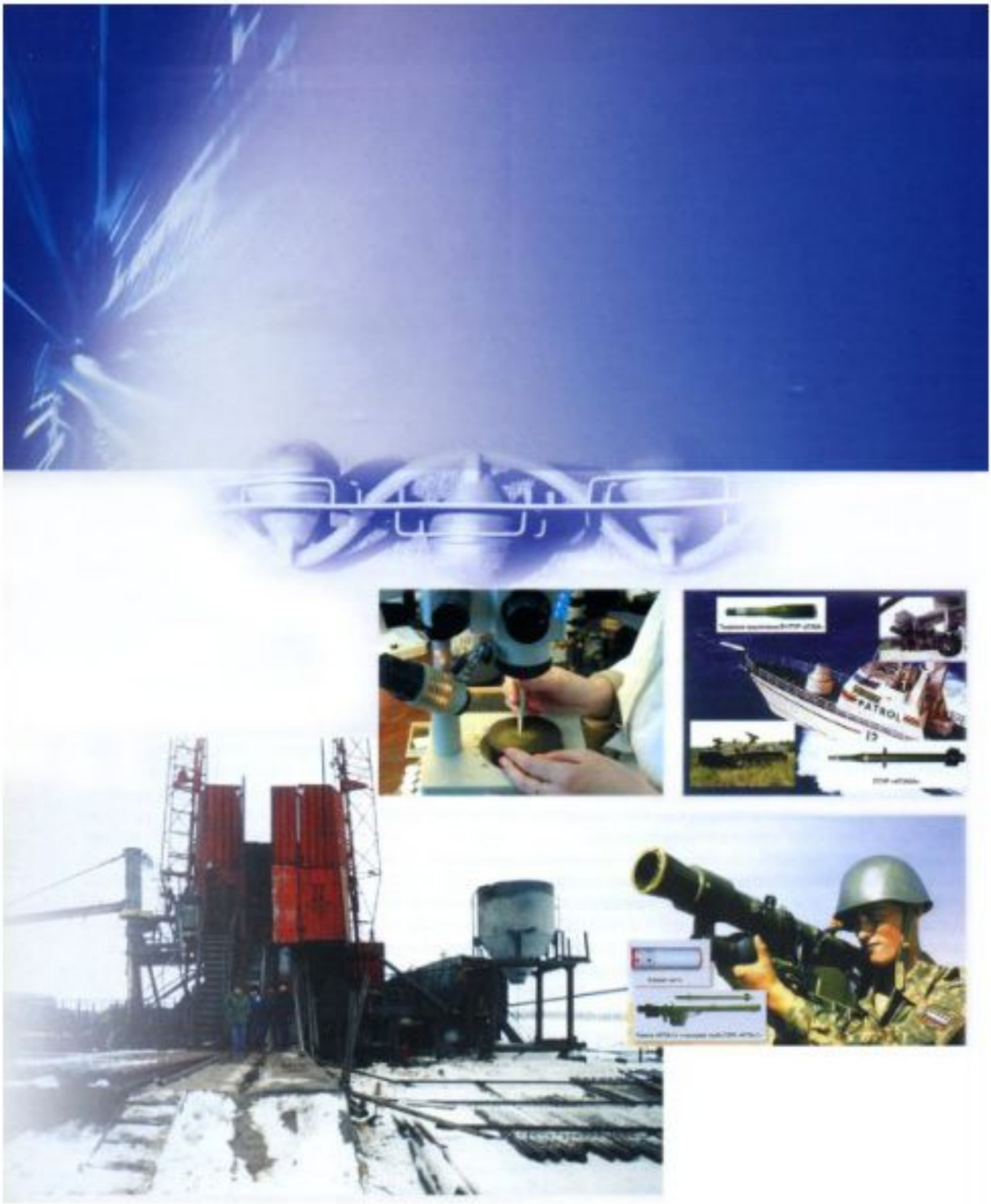
Структура Службы безопасности изменяется в соответствии с новыми задачами, которые ставятся перед ней, и в связи с изменяющейся организационной структурой РФЯЦ-ВНИИЭФ. В соответствии с приказом по институту режимно-секретные отделы в подразделениях были преобразованы в отделы безопасности. В последние годы в структуре ВНИИЭФ были созданы институты, КБ и завод со своими службами безопасности.

В последние годы РФЯЦ-ВНИИЭФ посещают многие высокопоставленные гости. Их визиты для Службы безопасности – всегда серьезная работа по недопущению каких--либо ЧП во время их пребывания. Не надо думать, что если кто-то из таких гостей прибыл со своей охраной, то СБ ВНИИЭФ делать нечего. Это не так. Личная охрана находится вблизи охраняемого лица, а на дальних подступах охрану обеспечивает Служба безопасности, войсковая охрана. Кроме того, свита, обычно сопровождающая высоких гостей, тоже требует к себе внимания и определенных мер безопасности.

После визита Б. Н. Ельцина в городе побывали премьер-министры РФ В. С. Черномырдин и М. А. Касьянов, директор ФСБ Н. П. Патрушев и многие министры.

Особенно значительным событием было пребывание в городе Президента России В. В. Путина и Патриарха Московского и всея Руси Алексия II на юбилейных торжествах в честь 100-летия канонизации преподобного Серафима Саровского. По своим масштабам охранные мероприятия, проведенные в городе в это время, ни с чем не сравнимы. Все прошло успешно. По итогам торжеств директору РФЯЦ-ВНИИЭФ Р. И. Илькаеву и заместителю директора по безопасности Ю. М. Якимову Президентом России была объявлена благодарность.

Анализ состояния комплексной безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ показывает, что, несмотря на все трудности и сложности последних лет, серьезных провалов и недостатков в своей важной и ответственной работе Служба безопасности ядерного центра не допустила. Это означает, что государственной тайне, государственным секретам высочайшего уровня, а к ним относится множество сведений о разработке и производстве ядерного оружия, обеспечена надежная охрана в полном соответствии с требованиями национальной и международной безопасности.


PATROL

Конверсионные разработки ВНИИЭФ

В конце 80-х – начале 90-х годов РФЯЦ-ВНИИЭФ столкнулся с проблемой формирования производственных планов. Объем гособоронзаказа значительно сократился, четких указаний о работе по другим направлениям не поступало. Руководство института начало самостоятельный поиск новых путей деятельности.

Разработка и совершенствование неядерных вооружений

С конца 80-х годов РФЯЦ-ВНИИЭФ подключился к работам по совершенствованию систем обычных (неядерных) вооружений, используя в этом направлении свой богатый опыт создания ядерных боеприпасов, специфические методические подходы и экспериментальную базу.

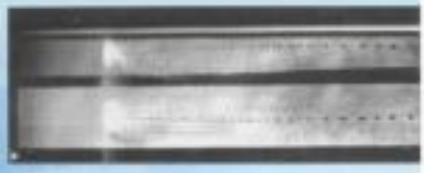
Для разработки и производства неядерных вооружений РФЯЦ-ВНИИЭФ получил лицензии Российского агентства по боеприпасам и Российского агентства по системам управления. Созданная в институте система качества производства неядерных вооружений сертифицирована.

В течение многих лет в РФЯЦ-ВНИИЭФ создавались программы и расчетно-теоретические методики для моделирования сложных физико-химических и газодинамических процессов, которые сегодня успешно применяются для проектирования неядерных боеприпасов. Экспериментально-испытательная база института позволяет всесторонне проверять качество изделий в целом и их составляющих, отрабатывать новые изделия на

Испытания ракетного комплекса «Хризантема-С»

Многоканальный электрооптический комплекс и пример регистрации

Рентгенограммы кумулятивной струи заряда калибром 120 мм на два момента времени, полученные в эксперименте на установке «Эридан-3»



Снимок фрагментированной кумулятивной струи, полученный ортогональным синхробаллистическим методом

стойкость к различным видам облучения, тепловым и климатическим воздействиям, давлению, вибрации, ударным и статическим нагрузкам.

Методы лабораторной газодинамической отработки неядерных боевых частей. Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва (ИФВ) РФЯЦ-ВНИИЭФ традиционно работал над важнейшими для создания неядерных вооружений проблемами. Мы расскажем о методологии экспериментов и отработки трех типов боевых частей (БЧ) – кумулятивных, снарядоформирующих и осколочно-фугасных, а также коснемся вопросов определения работоспособности всех типов БЧ в условиях интенсивных перегрузок.

Кумулятивные БЧ. Экспериментальные исследования и отработка кумулятивных зарядов проводятся в ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ с использованием современного набора измерительных методик, которые позволяют надежно регистрировать все этапы процесса – от инициирования и детонации заряда до пробития броневых листов или бронепреград. Необходимо отметить, что поведение кумулятивной струи на завершающей стадии удлинения и на конечном этапе проникновения в прочные преграды не поддается описанию даже самыми современными методами численного моделирования. Параметры этих процессов существенно зависят от технологии и точности изготовления отдельных элементов заряда, что может учитываться только в инженерных расчетных методиках. Калибровка и определение эмпирических констант для этих методик проводятся по результатам измерений.

Рассмотрим некоторые характерные примеры регистрации и результатов обработки экспериментов. Электрооптическая многоканальная методика измерения временных интервалов основана на использовании ячейки Керра, преобразующей электрические сигналы замыкания датчиков в световые, которые регистрируются высокоскоростным фоторегистратором. Методика обеспечивает изучение различных быстропротекающих процессов и измерение временных интервалов в диапазоне от 0,02 до 2000 мкс по нескольким сотням независимых каналов.

Импульсное рентгенографирование – один из основных методов исследования быстропротекающих процессов. Он применяется для регистрации практически всех этапов кумулятивного взрыва.

Для исследования поведения кумулятивной струи на этапах завершения ее удлинения и фрагментации на отдельные элементы наиболее информативной является синхробаллистическая фоторегистрация. Она позволяет получать более четкие контурные изображения элементов по сравнению с рентгеносъемкой и не имеет ограничений по продольному размеру регистрируемого объекта.

Существенным достоинством нашего варианта синхробаллистической методики является возможность ортогональной съемки (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с использованием перископа). Это позволяет регистрировать параметры не только поступательного, но и радиального движения элементов, что особенно важно для итоговой оценки точности работы кумулятивного заряда в целом. Скорости радиального движения (дрейфа) элементов струи не превышают нескольких десятков м/с, что более чем на два порядка меньше, чем скорости поступательного движения струи (несколько км/с). Однако и те, и другие успешно регистрируются в одном синхробаллистическом эксперименте.

Имеющийся набор экспериментальных методик отвечает современным требованиям, которые предъявляются к задачам отработки кумулятивных зарядов боевого и промышленного назначения, однако дальнейший прогресс в этой области требует перехода на более совершенное оборудование. В частности, в последние годы в ИВФ разработаны и успешно применяются во взрывных экспериментах многоканальные (n ~ 1000) измерительно-вычислительные комплексы временных и аналоговых измерений на базе компьютерных технологий, совместимые с различными датчиковыми системами.

Достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ в разработке кумулятивных БЧ во многом обусловлены успешной работой коллектива экспериментаторов-газодинамиков, прежде всего группы О. В. Свирского, а также значительным вкладом других специалистов, авторов исследовательских методик.

Снарядоформирующие БЧ. В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработана замкнутая технология расчетно-экспериментального проектирования снарядоформирующих боевых частей (СФБЧ). Для их экспериментальной отработки на внутреннем полигоне РФЯЦ-ВНИИЭФ создана и успешно функционирует баллистическая трасса длиной 200 м. Приборное оснащение трассы позволяет определять скорость и время полета поражающего элемента (ПЭ), контролировать процесс его формирования в ближней зоне, ориентацию и форму ПЭ на траектории движения (на 4–5 позициях), определять бронепробитие и запреградное действие, а также улавливать ПЭ после выстрела с помощью специальных устройств мягкого торможения.

Разработанная методология экспериментальных исследований динамики и механизмов формирования ударных ядер в полной мере обеспечивает тестирование численных методов сквозного расчета работы СФБЧ.

Авторы комплекса экспериментальной разработки СФБЧ – группа газодинамиков под руководством Р. С. Осипова.

Для разработки моделей, определяющих уравнения упругопластического поведения материала ударного ядра в условиях интенсивного ударно-волнового и квазиизэнтропического деформирования, используются соответствующие методики динамического эксперимента. Они подробно описаны в разделе «Динамическая прочность» главы, посвященной работам физиков РФЯЦ-ВНИИЭФ.

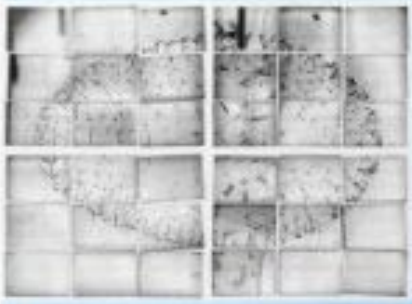
Осколочно-фугасные БЧ. При разработке многофункциональных осколочных и осколочно-фугасных боевых частей (ОФБЧ), адаптирующихся к типу цели и условиям поражения, применяются экспериментальные методики, обеспечивающие измерение детальных характеристик боеприпасов, необходимых для прогнозирования и подтверждения боевой эффективности комплексов вооружения.

Для измерения характеристик движения осколочных элементов, разгоняемых продуктами детонации ВВ, и параметров фугасности БЧ в РФЯЦ-ВНИИЭФ применяются следующие экспериментальные методы и датчиковые системы:

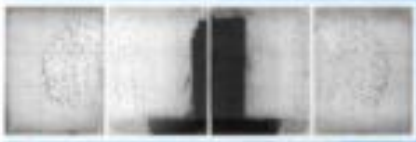
– метод импульсной рентгенографии;
– метод высокоскоростной оптической регистрации;
– контактные датчики соударения;
– сегнетоэлектрические датчики соударения;
– датчики давления для измерения параметров воздушной ударной волны;
– ловушки осколочных элементов.

Баллистическая трасса газодинамической отработки снарядоформирующих БЧ

Типичная схема эксперимента при испытании макета ОФБЧ



Аксонометрическая широкоформатная импульсная рентгеносъемка осколочного поля адаптивной ОФБЧ



Рентгенограмма поля осколочных элементов БЧ ПЗРК «Игла-С»

Взрывной ударный стенд «СТВОЛ-410»

Многоцелевой ракетный комплекс «Штурм»

СФБЧ для самоприцеливающегося боевого элемента «Гном» реактивной системы залпового огня «Град»

Наибольших успехов в расчетно-теоретическом обосновании и отработке ОФБЧ нового поколения добились группы А. В. Гладцинова (эксперимент) и С. Ф. Маначкина (расчет).

Работоспособность БЧ в условиях действия интенсивных динамических нагрузок. Современные БЧ с электронными схемами взведения, электронными или взрывными логическими схемами и другими прецизионными узлами должны сохранять работоспособность в условиях воздействия интенсивных динамических перегрузок: стартовых, траекторных, финишных (например, для заглубляющихся боеприпасов).

Для обеспечения подобного рода испытаний в РФЯЦ-ВНИИЭФ разработан и функционирует целый парк исследовательско-испытательных газодинамических установок на основе взрывных ударных стендов (ВУС) серии «СТВОЛ», построенных по принципу: отсек нагружения – объект испытания – отсек ускорения – отсек торможения – финишный отсек.

Ключевой элемент ВУС – взрывной генератор давления (ВГД), входящий в отсек нагружения и основанный на использовании дозированных взрывов распределенных зарядов бризантного ВВ, заключенных в неразрушаемую камеру, локализующую взрыв. Дозирование массы ВВ в сочетании с системой дроссельных и демпферных элементов позволяет мобильно и в широком интервале варьировать диапазон амплитуд, длительностей и крутизны фронтов перегрузок, действующих на объект.

Применение прецизионных бризантных ВВ позволяет с высокой точностью (~1 мкс) синхронизировать процесс нагружения с диагностической аппаратурой. Создание перегрузок возможно как на старте, так и на финише, дополненном при необходимости системами мягкого торможения и улавливания объекта.

Построение ВУС по модульному принципу позволяет мобильно отключать финишный участок мягкого улавливания и диагностировать реальную работу объекта и его газодинамические характеристики в условиях взрыва. Для этой цели ВУС оснащен современной информационно-измерительной системой (ИИС) на базе компьютерных технологий, содержащей десятки измерительных каналов и адаптированной к датчиковым измерительным устройствам, основанным на разных физических принципах.

Цикл расчетно-теоретических, экспериментальных и научно-конструкторских работ, производственная база ВНИИЭФ, применение описанных технологий, разработанных в ИВФ, позволили существенно улучшить основные характеристики существующих кумулятивных и снарядоформирующих БЧ. При этом для осколочно-фугасных БЧ разработаны алгоритмические БЧ нового поколения, адаптирующиеся по характеристикам осколочного поля (скорость и масса поражающих элементов) к направлению промаха и типу цели.

Авторский коллектив, разработавший комплекс установок ВУС (лаборатория В. Н. Хворостина, С. А. Новиков, А. Л. Михайлов) удостоен премии Правительства РФ за 2003 год.

Боевые части для комплексов неядерных вооружений, разработанные в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Разработка современного неядерного оружия в институте сегодня представляет собой замкнутый цикл – от расчетно-теоретических и экспериментальных исследований до конструирования изделий, их отработки, разработки необходимых техноло-

гических процессов и организации серийного производства на основе развитых технологической и производственной баз института.

Разработанные в институте боевые части и заряды входят в состав ракет таких комплексов, как ПЗРК «Игла-С», МРК «Штурм», ПТРК «Хризантема-С», РСЗО «Град», «Смерч», «Ураган». Например, тандемная кумулятивная боевая часть для противотанковой управляемой ракеты «Атака» используется в многоцелевом ракетном комплексе «Штурм» для поражения всех типов объектов, защищенных броней, а тандемная кумулятивная БЧ всепогодного ракетного комплекса «Хризантема-С» с высокой долей вероятности обеспечивает поражение современных танков и вариантов этого вида техники, которые, возможно, появятся в будущем.

В распоряжении специалистов-разработчиков неядерных БЧ имеется обширный банк данных упругопластических свойств материалов в широком диапазоне ударно-волновых нагружений, позволяющий применять программные комплексы, в которых реализованы методики численного моделирования, для исследования процессов формирования поражающего элемента и характеристик пробития броневых преград. Создана двумерная программа «Айэролайн», рассчитывающая движение поражающего элемента по траектории. С помощью оригинальных методов конструирования специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ разработали снарядоформирующую боевую часть для оснащения самоприцеливающегося боевого элемента «Гном», применяемого в реактивной системе залпового огня «Град», которая обеспечила такое же бронепробитие, как и у исходного образца, имея при этом почти в три раза меньшую массу.

При определении критериев поражения целей наиболее продуктивным явилось изучение реакции боевых частей на ударное воздействие осколочных элементов. Полученные данные позволили уточнить критерии поражения целей за счет инициирования их зарядов и, при сохранении эффективности, снизить массу осколочно-фугасного боеприпаса примерно в 1,5 раза. Проведенные исследования и разработки завершились созданием неконтактно-контактного взрывателя адаптивного типа и осколочно-фугасного заряда с алгоритмической системой инициирования.

Разработан ряд боевых частей адаптивного типа, в том числе сверхмалого калибра. Они содержат современные схемотехнические решения, позволяющие поражать цели с обеспечением автоматического выбора режима срабатывания (контактного, неконтактного и

Всепогодный ПРК «Хризантема-С»

Расчетная форма (слева) и экспериментальная рентгенограмма (справа) поражающего элемента СФБЧ

Переносной зенитно-ракетный комплекс «Игла-С»

вид спереди

вид сзади

Эксперимент по подтверждению поражающих характеристик СФБЧ: пробитие бронеплиты толщиной 100 мм с расстояния 100 м, расположенной под углом 60° к линии прицеливания (физическая модель и расчеты выполнены Г. В. Горбенко, В. В. Змушко)

Комплект стационарно устанавливаемой системы акустической разведки

Портативная система моноблочной конструкции

других) в зависимости от условий перехвата. Разработанная в РФЯЦ-ВНИИЭФ боевая часть ПЗРК «Игла-С» обеспечивает высокую вероятность поражения низколетящих малоразмерных целей, в том числе и в неконтактном режиме, в условиях помех и при любых климатических условиях.

Физические схемы конструкций БЧ, которые на данный момент прошли стадию соответствующих экспериментов, разработаны в Институте теоретической и математической физики РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Проблемы безопасности войск. Во ВНИИЭФ активно ведутся работы, связанные с повышением уровня безопасности блокпостов, погранзастав, пунктов временной дислокации войск. Разработан комплекс акустической разведки огневых позиций стрелков (снайперов), не имеющий отечественных аналогов. Комплекс определяет местонахождение стрелков противника, ведущих огонь, и указывает цели в реальном масштабе времени. Для развертывания комплекса требуется минимальное время, и его непрерывная работа обеспечивается в любых погодных условиях и в любое время суток при различном рельефе местности.

Работы в гражданском секторе экономики

Решая сложнейшие задачи, связанные с выпуском ядерных вооружений, ВНИИЭФ стал обладателем уникального банка технических решений и наукоемких разработок, которые оказались применимы в гражданском секторе экономики. Это дало возможность институту расширить сферу своей деятельности, переориентировав часть производств на выпуск продукции гражданского назначения.

Производство прострелочно-взрывной аппаратуры для интенсификации добычи нефти и газа. Аппаратура предназначена для вскрытия продуктивных пластов нефтяных и газовых скважин путем перфорации и повышения их отдачи.

На заводе ВНИИЭФ организовано специализированное конструкторское технологическое бюро по разработке и производству различных типов ПВА: бескорпусных перфораторов с извлекаемым ленточным каркасом, трубных перфораторов однократного и многократного использования, трубных перфораторов для наклонно направленных и горизонтальных скважин, взрывной гидромеханической головки для задействования перфораторов на насосно-компрессорных трубах. В разработке находятся новые модификации перфораторов, не имеющие аналогов в мире. Кумулятивные заряды перфораторов рассчитываются высококлассными газодинамиками,

Казахстан, месторождение Западный Карамандыбас

обладающими богатым опытом работы в области моделирования процессов взрыва.

Преимущества перфораторов производства ВНИИЭФ:

– надежность и безопасность взрывных работ;

– высокая пробивная способность и термобаростойкость;

– пониженная фугасность;

– возможность эксплуатации ПВА в любых климатических условиях;

– возможность применения перфораторов на кабеле и насосно-компрессорной трубе;

– различные плотности перфорации;

– отсутствие деформации обсадной колонны и целостность цементного камня при воздействии.

Трубный перфоратор однократного применения ТП-К89 для скважин, обсаженных колоннами с внутренним диаметром не менее 117 мм

Бескорпусной перфоратор с извлекаемым ленточным каркасом ПЛ70

Взрывная гидромеханическая головка ВГМ73 для возбуждения детонационной цепи кумулятивных перфораторов

Перфораторы пользуются спросом у нефтяников и газовиков в России, Казахстане, Азербайджане.

Производство аппаратуры, оборудования и АСУ для предприятий топливно-энергетического комплекса и атомной энергетики. Институт имеет богатый опыт разработки, производства и поставки предприятиям газодобывающей отрасли датчиков, приборов, оборудования и систем различного назначения. Для оценки состояния опасных промышленных объектов, оптимизации транспортировки природного газа и нефтепродуктов во ВНИИЭФ разработаны уникальные технологии и программные продукты. Выпускаемые во ВНИИЭФ информационно-управляющие системы, системы вибромониторинга, датчики вибрации, метрологическая аппаратура контроля качества природного газа стали неотъемлемой частью всей комплексной системы технических средств диагностики и мониторинга технологических объектов топливно-энергетического комплекса России.

Эти и многие другие приборы и системы предназначены для оптимизации работ газотранспортных предприятий, повышения их

Интеллектуальные датчики непрерывного дистанционного контроля виброускорения, виброперемещения, виброскорости, перемещения и числа оборотов узлов и элементов конструкций газоперекачивающих и любых других механических агрегатов

Переносная система вибродиагностики ИВА для измерения вибрации и автоматизированной диагностики неисправностей различных механизмов, машин и трубопроводов

Извещатель пламени для автоматических установок пожарной сигнализации на производстве, в том числе на объектах добычи, переработки и транспортировки нефти и газа

Информационно-вычислительная система ИВС-К – трехуровневая распределенная система контроля технологического процесса на энергоблоке АЭС

Автоматизированная система контроля механических величин (АСКМВ) непрерывно контролирует техническое состояние вращающегося оборудования энергоблоков АЭС – газовых и паровых турбин, главных циркуляционных насосов

Унифицированная система технологических защит – проектно-компонуемая подсистема АСУ ТП энергоблока АЭС – для защиты технологического оборудования в случае возникновения аварийной и предаварийной ситуаций

Автоматизированное устройство ультразвукового контроля шпилек (УС УЗКШ) для эксплуатационного контроля шпилек главных разъемов реактора, главного циркуляционного насоса и парогенератора АЭС с реактором ВВЭР-1000

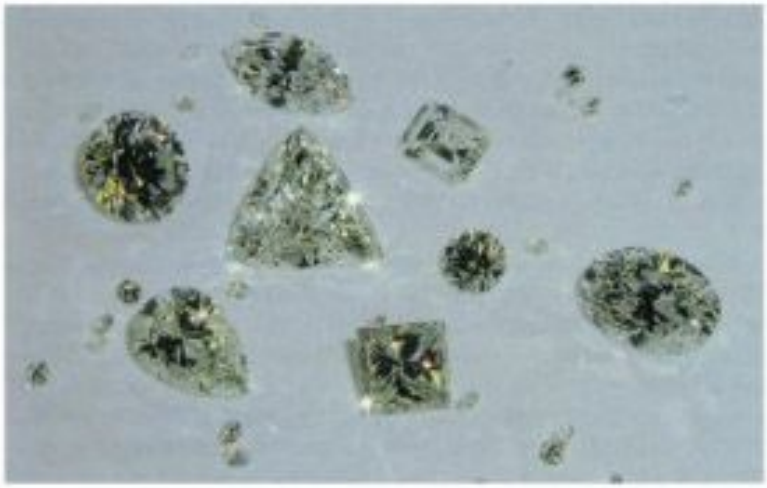
Участок лазерной распиловки алмазов

экономичности, улучшения ряда других показателей. Выпускаемая во ВНИИЭФ продукция по техническим характеристикам не уступает импортным аналогам, поэтому круг ее заказчиков постоянно расширяется.

Для повышения безопасности атомных электростанций ВНИИЭФ разрабатывает средства автоматизации неразрушающего контроля. В настоящее время поставляются заказчикам несколько разработок этого направления, среди которых многоканальная аппаратура контроля механических величин для АЭС, программно-технический комплекс для создания высоконадежных систем технологических защит для АЭС, а также автоматизированные устройства для вихретокового и ультразвукового контроля крепежных соединений реактора. Планируется создание и модернизация программного обеспечения для баз данных тех АЭС, которые должны войти в общую информационную систему отраслевого и международного уровня.

Алмазно-бриллиантовое и ювелирное производства РФЯЦ-ВНИИЭФ. Специалистами РФЯЦ-ВНИИЭФ освоен серийный выпуск бриллиантов классической круглой (КР-57) и фантазийных форм огранки («Изумруд», «Принцесса», «Маркиз», «Груша», «Овал», «Сердце», «Багет», «Квадрат», «Триллиант» и т. д.) из природных алмазов в широком диапазоне размерно-весовых групп, промышленное производство ювелирных изделий из драгоценных металлов со вставками из бриллиантов, других драгоценных и полудрагоценных камней. Гранильное производство оснащено современным оборудованием на основе уникальных прогрессивных технологий обработки алмазов: оптимальный раскрой алмазного сырья, автоматизированная лазерная резка, микромаркировка алмазных изделий.

Специалисты-ювелиры изготавливают высокохудожественные изделия по индивидуальным дизайн-проектам любой категории сложности. Высокий уровень качества продукции подтвержден зарубежными и российскими экспертами. Ювелирный салон РФЯЦ-ВНИИЭФ реализует ювелирную продукцию и сертифицированные



Образцы продукции

Участок автоматической обдирки алмазов

Рабочее место огранщика

бриллианты, выполняет заказы населения. Таким образом, сложился замкнутый цикл производства – от обработки сырья до коммерческой реализации готовой продукции.

Дальнейшие шаги алмазно-бриллиантового и ювелирного производств направлены на завоевание признания на мировых бриллиантовом и ювелирном рынках, освоение новых направлений изготовления продукции. В будущем возможно широкое применение алмаза в офтальмологии (первые образцы искусственных хрусталиков имплантированы в глаз человека), изделиях промышленности и электроники.

Ювелирные изделия

Оценщик бриллиантов

Производство лейкосапфировых интраокулярных линз. Лейкосапфировые интраокулярные линзы (ЛИОЛ) – искусственные хрусталики глаза – используют в офтальмологии для имплантации при лечении катаракты. Это совместная разработка ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ФГУП «ЭФКОН».

ЛИОЛ обладают прекрасной биосовместимостью с тканями глаза, высоким оптическим качеством и практически неограниченной долговечностью. Благодаря высокой биофизической инертности лейкосапфира отсутствуют противопоказания для применения, в том числе и при диабете. Ряд технологических достоинств ЛИОЛ

Образцы ИОЛ

уменьшает травматичность операции и создает профессиональный комфорт хирургу.

Процесс производства включает применение современных технологий с использованием компьютерной техники и прецизионной механики. В настоящее время освоен серийный выпуск ЛИОЛ.

Следующим важным шагом совместных разработок явилось создание впервые в мире опытной партии ИОЛ из природного алмаза (АИОЛ).

В клиниках России и СНГ успешно имплантированы сотни тысяч линз. Результаты имплантации представлялись на многих международных выставках и симпозиумах. Имеются сертификаты качества, лицензия и разрешение Минздрава РФ на производство и серийный выпуск.

Еще одно успешно развивающееся направление конверсионной деятельности ВНИИЭФ – создание новых медицинских установок. Познакомимся с ними на примере разработки, выполненной в НТЦФ.

Участок по изготовлению ИОЛ

Широкодиапазонные медицинские озонаторы. В последние годы в медицинскую практику интенсивно внедряются перспективные методы лечения и профилактики заболеваний – технологии озонотерапии. Большинство известных методик реализуется в диапазоне концентраций от 0,1 мг/л до 80–100 мг O_3 на литр озоно-кислородной смеси. Однако этот диапазон для имеющихся на сегодня аппаратов, как правило, существенно меньше, и необходимый для лечения разных заболеваний диапазон может быть достигнут лишь при использовании аппаратов нескольких типов. Поддержание скоростей выходных потоков в озонаторах осуществляется вручную и требует непрерывного контроля и регулировки. Проблемой является и измерение концентрации O_3. Во всех известных фотометрических измерителях концентрации в качестве излучателей используют, как правило, ртутные лампы, недостатки которых – низкий ресурс, высокие энергопотребление и стоимость. Большое (≥30 мин) время нагрева ламп обусловливает долгий период выхода фотометра и озонатора в рабочий режим.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ совместно с Федеральным управлением медико-биологических и экстремальных проблем Минздрава РФ и Ассоциацией российских озонотерапевтов разработаны и произ-

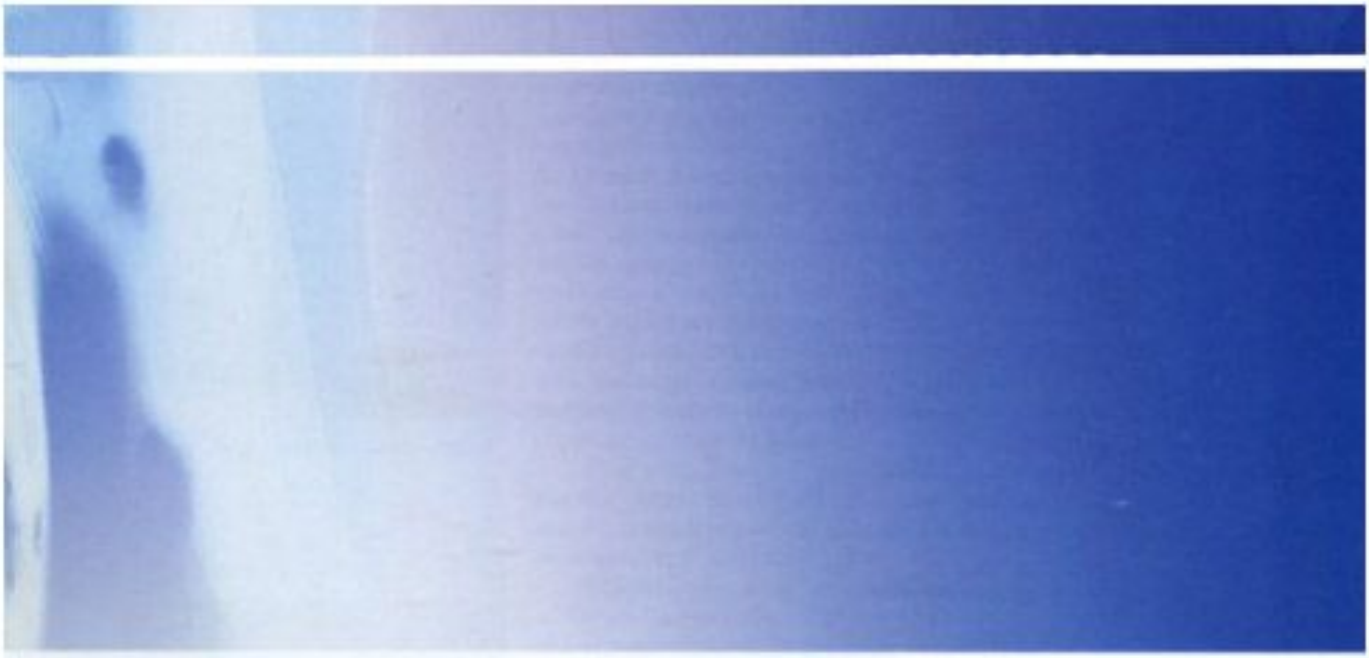
Участок по сборке ИОЛ

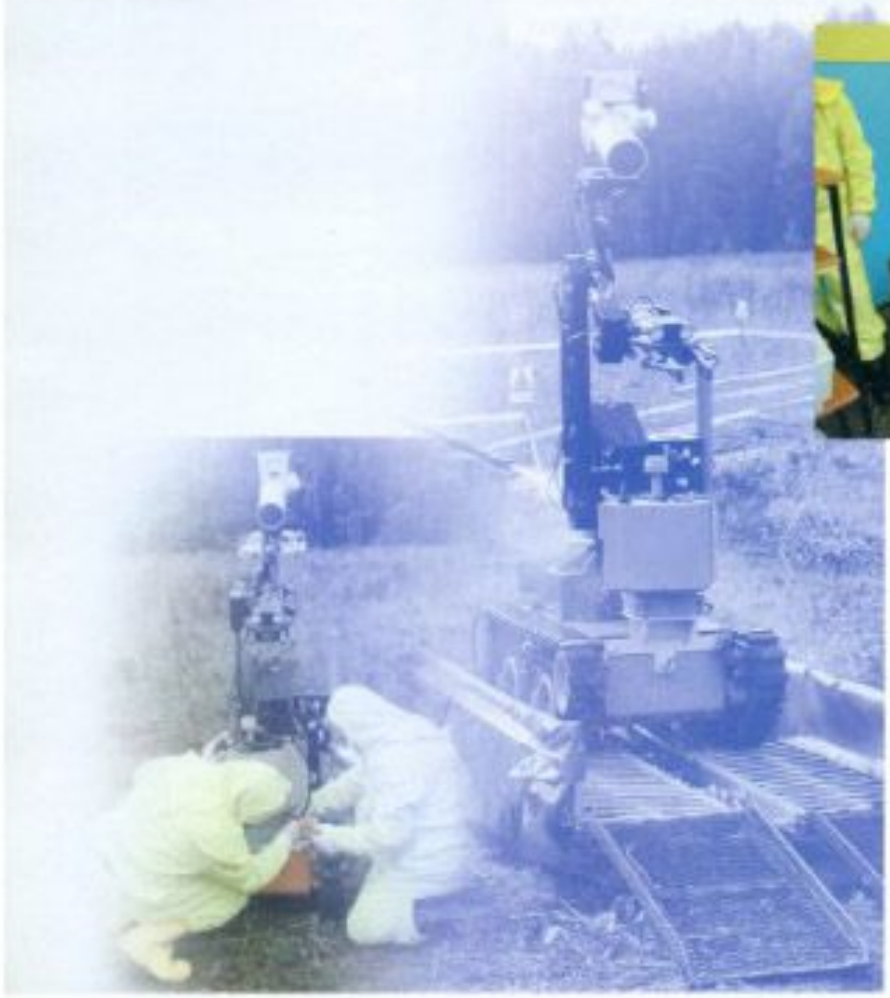
водятся медицинские озонаторы серии ТЕОЗОН, обеспечивающие реализацию всего спектра методик лечения и удовлетворяющие требованиям современной врачебной практики. Диапазон выходных концентраций озона аппаратов 0,1–80 мг/л, диапазон скоростей выходного потока 0,1–1 л/мин. Концентрация и скорость потока поддерживаются автоматически при колебаниях давления кислорода на входе аппарата 1,4–7 атм. Озонаторы снабжены электронной аппаратурой, задающей время процедуры, концентрацию и дозу озона, оснащены цифровыми и световыми информационными табло, таймером с индикацией обратного отсчета. Специальное устройство сигнализирует об истечении времени процедуры или о выходе давления за пределы рабочего диапазона. Имеются и другие сервисные устройства. Время выхода аппарата в рабочий режим – не более 1 минуты, энергопотребление – 30 Вт.

Озонатор прошел все необходимые клинические и технические испытания, сертифицирован и внесен в государственный реестр медицинских изделий. Он является победителем конкурса перспективных разработок V Международной выставки-конгресса «Hi-Tech-2000» и Всероссийского научно-промышленного форума «Россия единая-2002», награжден дипломами Министерства промышленности, науки и технологий РФ.

В настоящее время озонаторы используются в клиниках Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода, городов Мордовии, в Ростове-на-Дону, Рязани, Сочи, Уссурийске, а также за рубежом. В совместных исследованиях, проведенных ВНИИЭФ, Нижегородской медицинской академией и лабораторией особо опасных инфекций ЦГСЭН, аппарат был успешно использован для подавления активности спор сибирской язвы.

Медицинский озонатор ТЕОЗОН





Аварийно-технический центр ВНИИЭФ

Катастрофа на Чернобыльской АЭС (1986 год), ее масштабы и последствия, ход работ по ликвидации последствий убедительно продемонстрировали необходимость создания специализированных аварийных формирований, предназначенных для ликвидации последствий радиационных аварий. В том же 1986 году на предприятиях ядерного комплекса были созданы нештатные аварийные команды, штабы по ликвидации последствий аварий. Дальнейшее развитие создание аварийных формирований получило после образования в РФ в 1992 году единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС).

Для обеспечения безопасности в области производства и эксплуатации ядерного оружия в Росатоме создана и функционирует Отраслевая система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ОСЧС), основу которой составляют аварийно-технические центры, созданные по Постановлению Правительства РФ от 25.03.93 № 246. В стране было создано пять АТЦ МАЭ РФ, в том числе и во ВНИИЭФ. Большой объем подготовительных работ, проведенных в 1994–1998 гг., позволил АТЦ и личному составу в октябре 1998 года успешно пройти первичную аттестацию и получить свидетельство МЧС РФ на право ведения работ в чрезвычайных ситуациях.

В настоящее время АТЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ представляет собой самое крупное профессиональное формирование постоянной готовности, аттестованное на право проведения работ по ликвидации последствий аварий (ЛПА) при возникновении чрезвычайной ситуации с ядерными

Визит С.К. Шойгу в РФЯЦ-ВНИИЭФ

Дезактивация персонала

Дезактивация техники в полевых условиях

боеприпасами (ЯБП), ядерными зарядами (ЯЗ) и их компонентами и при транспортировании ядерных материалов (ЯМ) и радиоактивных веществ (РВ) по территории 12 регионов центральной части РФ.

В АТЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ работают 58 сотрудников, аттестованных на статус «спасатель» различных классов.

Основа АТЦ – два аварийно-испытательных отдела, предназначенных для быстрого реагирования на чрезвычайные ситуации: по предупреждению и ликвидации аварий с ЯБП, ЯЗ и их образцами и по предупреждению и ликвидации аварий при транспортировании ЯМ и РВ.

Радиометрический отдел осуществляет радиационный и дозиметрический контроль при работах по ликвидации последствий аварий, осуществляет радиационную разведку, прогнозирование последствий радиационных аварий.

Методический отдел организует обучение и тренировки личного состава АТЦ, разработку методической документации.

Отдел технической эксплуатации обеспечивает постоянную готовность транспорта, специальной техники и оборудования АТЦ для проведения работ по ликвидации последствий аварий, осуществляет материально-техническое обеспечение.

Группа сбора и обработки информации обеспечивает видео- и фоторегистрацию работ АТЦ, функционирование локальной вычислительной сети центра, разработку и сопровождение различных баз данных.

Для выполнения возложенных задач АТЦ оснащено соответствующим оборудованием:

– средствами управления и связи: полевой локальной вычислительной сетью, системой видеоконтроля и дистанционного управления работами, радиосвязью различных частотных диапазонов и дальности, спутниковой системой связи;

– средствами радиационного контроля: передвижными радиационными лабораториями «Виза», «Инспектор», SMC; переносными спектрометрами и радиометрами производства США, ФРГ, Франции, России для контроля альфа-, бета-, гамма-излучений и трития в полевых условиях; переносными приборами для измерения нейтронного излучения; индивидуальными дозиметрами производства России и Франции;

– средствами метеонаблюдения – мобильной метеорологической станцией, установленной в комплексе «Виза», и стационарной метеорологической станцией, установленной на пункте управления АТЦ;

– робототехническими системами: малым манипулятором MF4, оснащенным дистанционно управляемым гамма-локатором;

– средствами доступа к аварийным объектам: механическими устройствами с ручным, пневмо-, гидравлическим и электроприводами, устройствами плазменной резки, комплексами гидроабразивной резки;

– средствами диагностики аварийных объектов, включающими рентгенографические комплексы и эндоскопические устройства;

– средствами обращения с аварийными объектами и их обезвреживания (оборудование и инструмент, средства фиксации и флегматизации);

– средствами безопасной транспортировки аварийных объектов – универсальным суперконтейнером;

– средствами индивидуальной защиты и жизнеобеспечения – шлюзовой палаткой, шлюзовым душем, изолирующими костюмами, аппаратами сжатого воздуха.

Подготовка комплекса видеонаблюдения

В зависимости от обстановки АТЦ работает в трех режимах. Первый – режим повседневной деятельности при нормальной обстановке и отсутствии прогноза о возможности возникновения чрезвычайной ситуации. Второй – режим повышенной готовности при отклонениях от пределов безопасной эксплуатации объектов ВНИИЭФ, проведении ядерно- и радиационно опасных работ, транспортировке ЯМ и РВ в зоне ответственности АТЦ и при получении прогноза о возможности возникновения чрезвычайной ситуации. Третий, чрезвычайный режим объявляется при возникновении чрезвычайной ситуации и ликвидации последствий на первых этапах.

Готовность АТЦ РФЯЦ-ВНИИЭФ выполнить поставленные перед ним задачи неоднократно и на высоком уровне подтверждалась его успешным участием в учебно-тренировочных мероприятиях, проведенных ВНИИЭФ, Минатомом, Минобороны, МЧС. Наиболее масштабные из них – это учения «Урал-99», «Авария-2000», «Авария-2002», «Саров-2003», «Авария-2004», «Ядро-2005».

Результаты учений показывают, что Аварийно-технический центр РФЯЦ-ВНИИЭФ укомплектован высококвалифицированным персоналом и обладает всеми необходимыми средствами, чтобы в случае возникновения чрезвычайной ситуации принять все требуемые меры по ее ликвидации.

Подготовка МГ4 к работе

Учения личного состава АТЦ, 2003 год

United States
Australia
Belgium
Germany
Japan
Russian Federation

Международное научно-техническое сотрудничество ВНИИЭФ

Международное научно-техническое сотрудничество РФЯЦ-ВНИИЭФ тесно связано с деятельностью мирового научного сообщества, направленной на решение задач по нераспространению ядерных оружейных технологий.

Первые международные контакты РФЯЦ-ВНИИЭФ состоялись в 1990 году. В это время были подписаны меморандумы и протоколы с научными организациями США, Франции, Китая, Чехии, Бельгии.

Основные научные направления в области международного сотрудничества РФЯЦ-ВНИИЭФ с зарубежными научными организациями:

– физика высоких плотностей энергии;
– физика высокотемпературной плазмы;
– ядерная физика;
– физика лазеров и технология мощных лазеров;
– газодинамика и физика взрыва;
– расчетно-теоретическое моделирование и информационные технологии;
– безопасность атомной энергетики;
– технические вопросы учета, контроля и хранения ядерных материалов;
– производство высокочистых изотопов;
– тритиевые технологии;
– разработка аппаратуры для различных научно-производственных нужд;
– другие новые технологии, в том числе биомедицинские, и перспективные материалы.

Международное научно-техническое сотрудничество РФЯЦ-ВНИИЭФ осуществляется в соответствии с межправительственными и ра-

Первый визит во ВНИИЭФ руководителей ядерных лабораторий США, 1992 год

мочными соглашениями по обеспечению международных договоров о сокращении и нераспространении ядерного оружия, запрещении его испытаний, совместных исследований в областях фундаментальной и прикладной науки, промышленного партнерства.

Партнерами РФЯЦ-ВНИИЭФ являются международные научные организации (МАГАТЭ, ЦЕРН), национальные лаборатории Министерства энергетики США, Комиссариат по атомной энергии Франции, Китайская академия инженерной физики, научные организации США, Европейского Союза, Китая, Японии, промышленные компании США и Европы. РФЯЦ-ВНИИЭФ является постоянным участником крупных симпозиумов МАГАТЭ и Международного и Европейского физических обществ.

С 1992 года ВНИИЭФ сотрудничает с Международным научно-техническим центром (МНТЦ). За это время в институте выполнено около 400 проектов. В 2004 году РФЯЦ-ВНИИЭФ участвовал в 113 финансируемых проектах МНТЦ. Коллаборациями по проектам выступают научные и промышленные организации США, Европы, Канады, Японии. Проекты отражают практически весь спектр научных возможностей РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Беседа посла США в России А. Вершбоу (слева) и директора РФЯЦ-ВНИИЭФ Р. И. Илькаева (в центре) во время визита А. Вершбоу в Саров, 2002 год

Основную долю в международной деятельности РФЯЦ-ВНИИЭФ составляет сотрудничество с национальными лабораториями Министерства энергетики США.

Лос-Аламосская национальная лаборатория (ЛАНЛ) – один из крупнейших зарубежных партнеров РФЯЦ-ВНИИЭФ в области научно-технического сотрудничества. В рамках этого сотрудничества создан взрывной магнитокумулятивный генератор импульсных полей с амплитудой более 28 МГс, что является высшим мировым достижением. С использованием взрывомагнитных генераторов, разработанных в РФЯЦ-ВНИИЭФ, в Лос-Аламосе проведено несколько экспериментальных серий «Дирак» с участием ученых России, США, Германии, Бельгии, Японии, Австралии.

Совместно с **Ливерморской национальной лабораторией им. Лоуренса (ЛЛНЛ)** РФЯЦ-ВНИИЭФ исследует свойства материалов – алюминия и меди при ударном и безударном нагружении и жидкого дейтерия под давлением. Ведутся работы в области математического моделирования. Разрабатывается фоторегистратор на базе полупроводниковой камеры ионизационного типа, который не имеет мировых аналогов и может использоваться как в промышленности, так и в научных исследованиях быстропротекающих процессов.

По ряду контрактов разрабатывается оборудование для применения в нефтяных и газовых скважинах: кумулятивный перфоратор для вторичного вскрытия протяженных интервалов (до 500 м и более) в горизонтальных и наклонных скважинах; безопасный электродетонатор для скважинных корпусных перфораторов; импульсный генератор; сверлящее перфораторное устройство.

Результатом совместной с ЛЛНЛ работы стал программный комплекс «Master» по физике сплошных сред. При демонстрации комплекса на международных мероприятиях специалисты отмечают его уникальность и эффективность как учебной и исследовательской программы при изучении различных университетских курсов физики, механики и вычислительной математики.

Совместный эксперимент ВНИИЭФ-ЛАНЛ со взрывомагнитным генератором, 1993 год

Основная область сотрудничества РФЯЦ-ВНИИЭФ и **Сандийских национальных лабораторий (СНЛ)** – безопасность и надежность. По этой тематике в РФЯЦ-ВНИИЭФ выполняется ряд контрактов и проектов МНТЦ.

С участием Сандийских национальных лабораторий и ряда российских исследовательских организаций, в том числе РФЯЦ-ВНИИЭФ, создана и функционирует база данных по вопросам надежности, безопасности и влияния человеческого фактора на инженерные системы с потенциально тяжелыми последствиями при авариях.

Проводятся совместные исследования в области физики плазмы и математического моделирования процессов.

Обмен технической информацией с национальными лабораториями США в рамках международных соглашений служит обеспечению более высокого уровня безопасности, а также укреплению контактов между Росатомом и Министерством энергетики США.

Сотрудничество РФЯЦ-ВНИИЭФ и **Департамента военных приложений Комиссариата по атомной энергии Франции (CEA/DAM)** ведется

Подписи участников второй серии экспериментов «Дирак»

Визит в РФЯЦ-ВНИИЭФ делегации руководителей CEA/DAM (Франция). Музей ядерного оружия, г. Саров, 16 июня 2004 год

в области лазерных технологий, математического моделирования, визуализации и вычислительных систем, физических моделей (турбулентность, разрушение, откол), высокоэнергетических материалов, ускорительной техники, сильных магнитных полей, измерительных методов и приборов.

РФЯЦ-ВНИИЭФ тесно сотрудничает с **Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ)**. Специалисты РФЯЦ-ВНИИЭФ работают в консультативной группе МАГАТЭ, активно участвуют в международных программах по производству и внедрению изотопов урана и трансурановых элементов в качестве составляющей при изготовлении стандартных ядерных материалов. С 1997 года РФЯЦ-ВНИИЭФ участвует в программе МАГАТЭ по моделированию и оценке состояния биосферы БИОМАСС (BIOMASS). В рамках работы Тритиевой рабочей группы БИОМАСС разрабатываются и проверяются модели распространения трития в объектах окружающей среды. В 1997 году в РФЯЦ-ВНИИЭФ создан Центр ядерно-физических данных, который наряду с аналогичными центрами других стран участвует в пополнении базы открытых экспериментальных данных МАГАТЭ.

ЦЕРН – крупнейший в мире научно-исследовательский центр в области физики частиц. Один из глобальных научных проектов по изучению фундаментальных свойств материи, реализуемых в ЦЕРНе, – большой адронный коллайдер (LHC), в разработке которого участвуют свыше 400 физических институтов мира и крупных промышленных компаний. Для проведения исследований по изучению свойств кварк-глюонной плазмы на LHC ведется подготовка уникального эксперимента ALICE (A Large Ion Collider Experiment), в котором РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1997 года занимается научными исследованиями и опытно-конструкторскими работами по созданию двух детектирующих систем: спектрометра фотонов PHOS и спектрометра мюонов.

Встреча в Сарове: президент Сандийских национальных лабораторий США Пол Робинсон (в центре) и заместитель директора РФЯЦ-ВНИИЭФ по международному научно-техническому сотрудничеству В. Г. Рогачев (слева), 2004 год

Основным партнером РФЯЦ-ВНИИЭФ в Китайской Народной Республике с 1992 года является **Китайская академия инженерной физики (КАИФ)**.

За годы сотрудничества было реализовано несколько контрактов по поставке изотопов, приборов и оборудования для исследований в области инерциального термоядерного синтеза и разноплотности материалов. Регулярно проводятся совместные рабочие встречи и семинары по детонации и лазерному термоядерному синтезу. Сотрудничество с КАИФ ведется также в области физики высокоэнергетических материалов. Одна из конверсионных разработок РФЯЦ-ВНИИЭФ международного уровня – высоковольт-

ные элегазовые выключатели – успешно реализуется в Китайской Народной Республике.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ проводится ряд периодических международных конференций: Харитоновские чтения, «Супервычисления», научно-практический семинар «Капица», Международный симпозиум «Безопасность и экономика водородного транспорта». Это говорит о признании РФЯЦ-ВНИИЭФ как одного из ведущих мировых научных центров.

Второй Международный симпозиум «Безопасность и экономика водородного транспорта» IFSSEHT-2003, Саров, 2003 год

Международная деятельность ВНИИЭФ направлена на поддержку исследований в гражданской сфере, развитие интернациональной научной кооперации, интеграцию российских ученых в мировое научное сообщество. Конечной целью международного сотрудничества является привлечение инвестиций в конверсионные проекты РФЯЦ-ВНИИЭФ, внедрение в производство достижений фундаментальной и прикладной науки, участие в международном трансфере знаний и опыта, установление и развитие деловых связей РФЯЦ-ВНИИЭФ и иностранных исследовательских центров и промышленных компаний.

На ниве просвещения

Если понимать просветительскую деятельность в широком смысле этого слова, можно без преувеличений утверждать, что за последние годы ВНИИЭФ добился серьезных результатов на этом благородном поприще. Федеральный ядерный центр выступает организатором нескольких конференций высокого уровня – прежде всего это Харитоновские чтения (прошло уже 5 конференций) и школьные Харитоновские чтения, куда стремятся учащиеся и педагоги из разных регионов России и других стран. Нельзя не упомянуть и конференции по истории создания ядерного оружия, которые организовывали и проводили сотрудники ВНИИЭФ и ВНИИТФ и труды которых были опубликованы.

Во ВНИИЭФ издательская деятельность приобрела настоящий размах. Основная ее направленность – пропаганда достижений атомной отрасли, рассказ о ее людях.

И, наконец, работа Музея ВНИИЭФ (большинство знает его как Музей ядерного оружия), которая имеет большое значение для сохранения памяти о героическом прошлом и популяризации современных результатов научных и прикладных исследований.

Отдел технической информации (ОПИНТИ)

В решении важнейшей задачи повышения обороноспособности государства буквально с первых дней функционирования КБ-11 большая роль

Сотрудники на Первомайской демонстрации

отводилась обеспечению ученых и специалистов научно-технической информацией о новейших разработках и достижениях в различных отраслях знаний, в первую очередь в области атомной науки и техники. Поэтому уже в марте 1947 года по предложению Ю. Б. Харитона на объекте была организована научно-техническая библиотека № 11, комплектование которой осуществлялось на уровне крупнейших библиотек страны самыми ценными зарубежными и советскими научно-техническими журналами. Основная заслуга в создании научных фондов библиотеки принадлежит Елене Михайловне Барской.

В целях повышения качества научно-исследовательских работ, улучшения организации и экономики производства, обеспечения научно-технической информацией подразделений института в декабре 1955 года директор предприятия Б. Г. Музруков подписал приказ о создании отдела технической информации, который начал функционировать с конца апреля 1956 года и подчинялся заместителю главного конструктора Е. А. Негину. Первым начальником отдела был назначен А. Д. Суворов. Это были годы поиска новых форм обеспечения оперативной и качественной информацией. В этот период начали выходить информационные бюллетени по основным направлениям работ предприятия, осуществлялся поиск информации и предоставление первоисточников по запросам разработчиков, перевод открытых и специальных материалов из зарубежных источников. Была организована работа по отбору наиболее перспективных и интересных разработок на постоянно действующую отраслевую выставку.

В процессе научных исследований рождались новые технические решения, которые требовали патентно-правового оформления, закрепления приоритета и прав на них государства. С этой целью в ноябре 1966 года в отделе была создана патентная служба, которую возглавил Павел Павлович Ковалев. С 1971 года отдел занимался проведением патентно-технических исследований, направленных на определение технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты и конкурентоспособности. Авторские свидетельства, а позднее патенты стали подтверждением высокого качества и научной значимости работ института. Более 300 изобретателей ежегодно получают патенты на изобретения, полезные модели и промышленные образцы. Многие из них удостоены высоких правительственных наград, являются лауреатами различных премий, удостоены званий «Заслуженный изобретатель СССР» и «Заслуженный изобретатель Российской Федерации». Среди них выдающийся ученый-экспериментатор В. А. Цукерман, ведущие специалисты института Г. И. Шишкин и Р. Ф. Зубаеров. Многие изобретения сотрудников института получили международное признание, отмечены золотыми и серебряными медалями на Всемирном салоне изобретений «Брюссель-Эврика» в Бельгии (авторы С. А. Холин, С. И. Герасимов, С. Л. Эльяш, Н. И. Калиновская, Б. Н. Зюльков, В. М. Хорошкин) и Салоне изобретений в Париже (А. А. Потанин).

С 1975 года началось интенсивное внедрение вычислительной техники в информационные процессы. В отделе и институте была внедрена автоматизированная система научно-технической информации, которая позволила создать базы данных на машинных носителях и обеспечить более полный, быстрый и качественный поиск информации при проведении патентных исследований. Этот

опыт позволил быстро перейти на новые типы вычислительных машин (ПЭВМ), использовать в работе современные средства связи и доступа к российским и зарубежным базам данных. В настоящее время создается научная электронная библиотека, которая позволит работникам института получать необходимую информацию на рабочих местах. Это направление работ возглавляет заместитель начальника ОПИНТИ Н. А. Волкова.

Коллектив ОПИНТИ сегодня

В конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века началось активное сотрудничество ученых и специалистов ВНИИЭФ с зарубежными коллегами, возросло количество публикаций в научных журналах, выступлений на конференциях, семинарах, школах как в России, так и за рубежом. Широкое участие специалистов института в информационном обмене, необходимость оформления заявок на участие в различных научно-технических мероприятиях привели к необходимости создания в отделе специальной службы, сотрудники которой помогают специалистам института в представлении результатов их работы в России и за рубежом. Количество публикаций сотрудников ВНИИЭФ ежегодно растет, и показатель «публикуемости» сегодня – 8 публикаций на 100 научных сотрудников, что выше среднероссийских показателей.

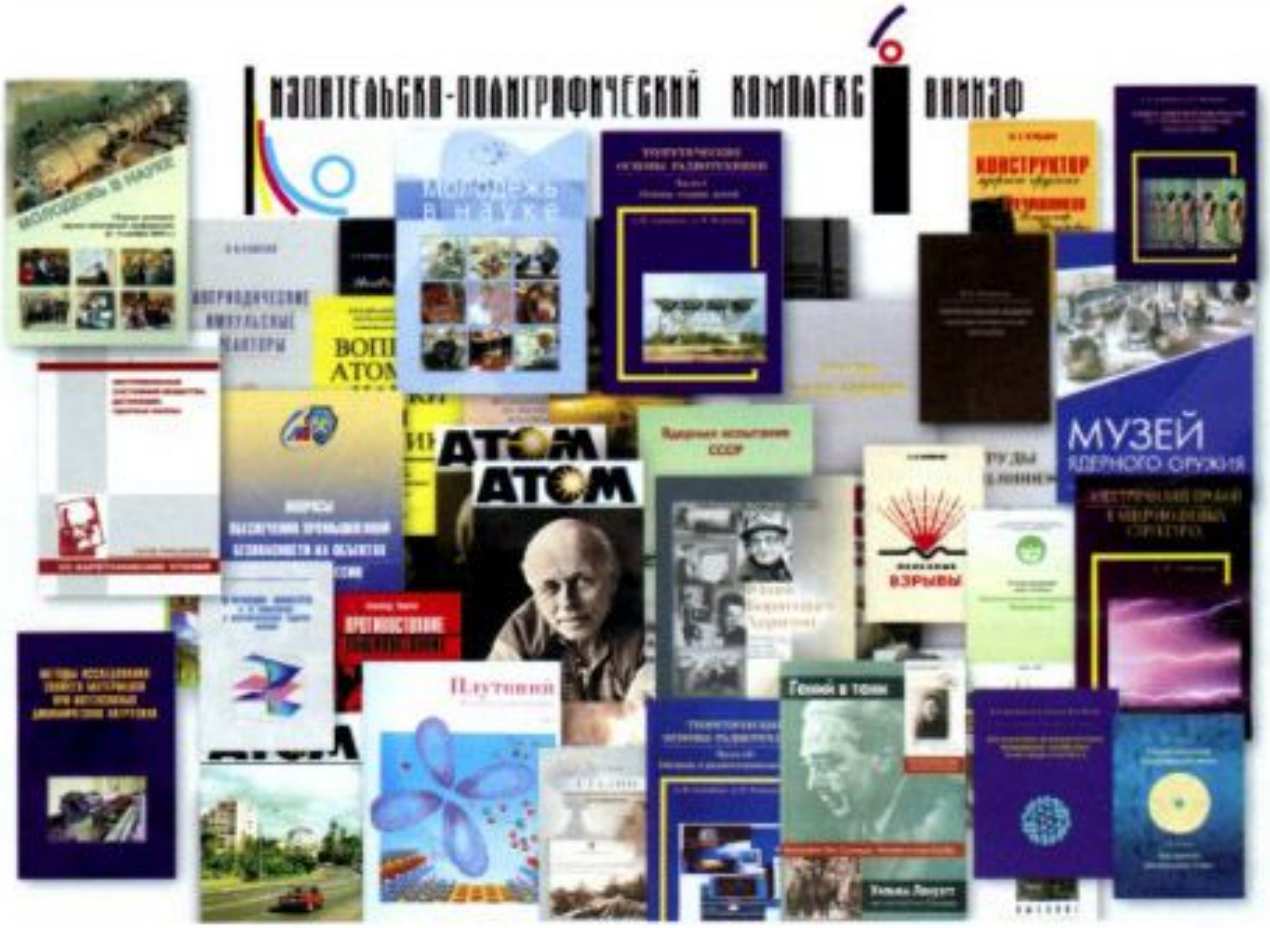
В 2006 году отделу патентных исследований и научно-технической информации исполняется 50 лет. Вклад сотрудников отдела всех поколений в славные достижения ВНИИЭФ, может быть, и не так ярок, как вклад его ведущих ученых и специалистов, но не менее значим. И в становлении и развитии института как одного из крупнейших научных центров страны есть доля труда его патентных и информационных работников.

Издательская деятельность

На всех этапах своей истории ВНИИЭФ уделял и уделяет большое внимание издательской деятельности, являющейся одной из важнейших функций института по пропаганде его основных достижений. Издание научных журналов и трудов, в которых публикуются результаты исследований ученых и специалистов института, – это не только отчет о выполненной работе и показатель научного уровня разработок. Это, по существу, завершающий этап исследований и первый шаг к практическому использованию достижений науки. Цель издательской деятельности института – широкое распространение информации об исследованиях ученых и специалистов Ядерного центра России по основным направлениям науки.

Сегодня Издательско-полиграфический комплекс – многопрофильное подразделение.

Его история начинается в 1947 году, когда была создана типография. Долгое время эта типография являлась единственным полиграфическим предприятием в г. Сарове и обеспечивала своей продукцией не только ВНИИЭФ, но и все городские организации. Первым начальником типографии был Николай Михайлович Хохлачев-Андронов. А в 1956 го-



ду в КБ-11 организована редакционно-издательская группа ОНТИ (начальник группы Э. Ф. Козичева). На протяжении многих лет редакционно-издательской работой института руководила Зинаида Ивановна Абрамова. Группа начинала с выпуска производственных плакатов, затем периодических отраслевых научно-технических сборников ВАНТ, а сейчас план-проспект изданий института носит универсальный характер, охватывая все направления основной деятельности.

В 1996 году руководство института одобрило инициативу сотрудников издательского направления по организации на базе редакционно-издательской группы ОПИНТИ, вычислительного центра отделения 9 и типографии Издательско-полиграфического комплекса (ИПК).

Перед ИПК была поставлена задача – обеспечить полный цикл подготовки издания: от редактуры авторских рукописей и дизайна будущего издания до создания оригинала-макета и тиражирования. Кроме этого ИПК было поручено методическое руководство всей издательской деятельностью института. Основными производственными структурными звеньями ИПК являются отдел допечатной подготовки и полиграфический цех. В отделе допечатной подготовки рукописи книг, журналов, статей проходят через редакционную обработку. Затем над ними трудятся верстальщики, корректоры, оформители. И вот перед нами красочный оригинал-макет книги, созданный совместным трудом авторов и коллектива ИПК с использованием современных компьютерных технологий.

Из отдела допечатной подготовки оригинал-макет отправляется на тиражирование в полиграфический цех. Цех оснащен современным печатным, переплетным и отделочным оборудованием, позволяющим выпускать книги высокого качества. Парк машин составляет около ста единиц, производственная мощность печатного оборудования – до 10 млн. оттисков в год. Продукция ИПК отличается хорошим качеством и пользуется спросом не только на предприятиях Росатома и России, но и за рубежом. Высокие достижения ИПК обусловлены прежде всего самым главным «оборудованием» – его высокопрофессиональным и дружным коллективом!

В 2006 году исполняется 10 лет с момента создания ИПК. Поэтому считаем необходимым перечислить сотрудников, вклад которых в издательскую деятельность института особенно значителен. Это руководители комплекса – А. В. Чувиковский, Е. В. Куличкова, В. И. Интяпин, а также профессиональное ядро ИПК: Д. А. Тукмаков, Л. В. Мазан, В. М. Тагирова, В. В. Ельцов, С. Н. Фролова, Н. А. Лештаева, А. А. Ивлева, О. В. Канаева, В. С. Ионова, З. П. Пугачева, В. В. Солодовников, А. Г. Донцова, К. С. Калинкина, Т. П. Пустынникова и многие, многие другие. Нельзя забыть ветеранов, которые находятся на заслуженном отдыхе: Н. П. Калмыков, Н. И. Ерошкина, Н. Г. Лихотникова, З. А. Ерунова, Е. А. Коваленко и другие.

ИПК – динамично и стабильно развивающееся подразделение института. Новая технологическая линия полноцветной печати позволяет продукции ИПК в настоящее время быть конкурентоспособной на российском рынке многокрасочной печатной продукции, в том числе рекламного характера.

В настоящее время ИПК издает более 60 наименований книг в год. Доля научной литературы составляет 55 %, учебной – 25 %, книг по истории разработки атомного оружия – 20 %.

Продукция ИПК – научно-технические сборники трудов ученых Ядерного центра, материалы конференций, совещаний, научно-популярные журналы, книги, справочники, учебники для вузов, рекламные буклеты, перекидные календари, бланки, листовая продукция для производственных целей.

Важнейшим направлением издательской деятельности ВНИИЭФ всегда был и остается выпуск научных сборников «Вопросы атомной науки и техники» (ВАНТ) серий «Математическое моделирование физических процессов» (ММФП), «Теоретическая и прикладная физика» (ТПФ), «Физика ядерных реакторов» (ФЯР), на страницах которых публикуются, прежде всего, итоги приоритетных исследований института. ВАНТы имеют богатую историю. Первые выпуски серий «Импульсные реакторы» и «Критические сборки и вопросы ядерной безопасности» начали выходить в 1971 году. Математическая серия основана в 1978 году. В состав редколлегии сборника вошли ведущие специалисты ВНИИЭФ, ВНИИТФ, ИПМ АН СССР.

Авторы присылали статьи из 73 отраслевых и академических институтов, более чем из 30 городов России. С течением времени в журнале начали публиковаться материалы конференций – традиционных «объектовских», внутриотраслевых, конференций молодых ученых.

Авторы статей, члены редколлегий и главные редакторы журналов – это ведущие ученые страны, члены Российской академии наук, лауреаты Государственных премий. Главные редакторы сборников – известные ученые: академик Ю. А. Трутнев, доктор физ.-мат. наук И. Д. Софронов, доктор техн. наук В. Ф. Колесов. Среди авторов – академики Ю. Б. Харитон, Е. А. Негин, В. С. Владимиров, А. А. Самарский, Р. И. Илькаев, члены-корреспонденты АН СССР Ю. Н. Бабаев, С. П. Курдюмов, Н. Н. Калиткин, выдающийся российский ученый Н. А. Дмитриев, многие ведущие специалисты ВНИИЭФ.

С 1984 года публикации на страницах сборников ВАНТ получили право учета при защите докторских диссертаций.

С 2000 года издается сборник научных статей «Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ» под редакцией академика РАН Р. И. Илькаева. В сборник включены результаты научных исследований и проектно-конструкторских разработок РФЯЦ-ВНИИЭФ. Целью издания является ознакомление широкой научной общественности России и других стран с достижениями РФЯЦ-ВНИИЭФ в области математики, информатики, вычислительной математики, математической физики, теоретической и экспериментальной физики, механики, физической и радиационной химии, систем управления, электроники, экологии, ядерной и технологической безопасности, а также в разработке новых приборов и установок научного и промышленного назначения.

Важное место в структуре изданий ИПК занимает научно-популярная, мемуарная литература. Достаточно сказать о таких изданиях как «Ядерные испытания СССР» в пяти томах (под общей редакцией академика В. Н. Михайлова), «Люди и взрывы» В. А. Цукермана и З. М. Азарх, «Мифы и реальность советского атомного проекта» Ю. Б. Харитона и Ю. Н. Смирнова, «КБ-11» С. Г. Кочарянца и Н. Н. Горина, «Испытание взрывом» и «Полезные взрывы» С. А. Новикова, сборники материалов конференций по истории разработок первых образцов атомного оружия, «История создания ядерного оружия в СССР (1946–1953 гг.)» (составитель – кандидат техн. наук А. Д. Пелипенко), «Рядом с эпицентром взрыва» Р. Ф. Трунина.

В 1995 году во ВНИИЭФ начал выходить журнал «Атом». В том, что журнал получился интересным, информативным, доступным широкому кругу читателей, огромная заслуга его первого редактора академика РАЕН С. А. Новикова.

Большое внимание ИПК уделяет выпуску учебной литературы, предназначенной для студентов и аспирантов вузов и специалистов института.

В связи с кризисным положением, сложившимся во второй половине 90-х годов с выпуском учебной

литературы, секция НТС ВНИИЭФ под руководством Г. А. Кириллова при участии ведущих ученых Н. И. Щаникова, А. И. Астайкина совместно с администрацией института разработала программу издания учебной литературы для спецфакультета СарФТИ. Объем выпускаемой учебной литературы постоянно растет. Выпущены учебные пособия по математике, электродинамике, оптоэлектронике, теории и практике СВЧ, радиотехнике, газодинамике, взрывчатым веществам, физике плазмы, физике атомного ядра, элементарным частицам, механике сплошной среды, теоретической механике, теории твердого тела и т. д.

Во ВНИИЭФ большое внимание уделяется обобщению и систематизации научных знаний в трудах и монографиях ученых, которые издает ИПК. Ценные научные сведения можно почерпнуть из таких книг, как «Кумулятивные источники света» (С. И. Герасимов, Ю. А. Файков, С. А. Холин), «Физика и техника высоких плотностей электромагнитной энергии (памяти академика А. И. Павловского)» (под редакцией В. Д. Селемира, Л. Н. Пляшкевича), «Физика и техника импульсных источников ионизирующих излучений для исследования быстропротекающих процессов (памяти В. А. Цукермана)» (под редакцией Н. Г. Макеева), «Высокие плотности энергии» (под редакцией В. Н. Мохова, Р. Ф. Трунина, В. М. Горбачева, Л. А. Илькаевой), «Кинетика динамического разрушения металлов в режиме импульсного объемного разогрева» (Е. К. Бонюшкин, Н. И. Завада, С. А. Новиков, А. Я. Учаев), «Прочность и ударные волны» и «Прочность материалов при динамическом нагружении» (под редакцией С. А. Новикова), «Разрушение разномасштабных объектов при взрыве» (под редакцией А. Г. Иванова).

Особое место в издательской деятельности занимает выпуск литературы справочного характера. Над созданием этого вида литературы работают ученые и специалисты, обладающие большой теоретической подготовкой и обширными практическими знаниями. Вышли в свет сборники Р. Ф. Трунина «Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию», «Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках» (под общей редакцией М. В. Жерноклетова). Готовится к выходу в свет фундаментальный труд доктора физ.-мат. наук В. Ф. Колесова «Апериодические импульсные реакторы» на русском и английском языках.

ВНИИЭФ плодотворно сотрудничает с предприятиями отрасли, отечественными организациями и зарубежными издательствами: ряд своих работ газодинамики института опубликовали за рубежом.

Совместно с «Физматлитом» изданы пять книг по истории создания атомной бомбы в СССР, в которых впервые опубликованы рассекреченные документы: переписка, приказы, постановления по реализации советского атомного проекта. В издательстве «Молодая гвардия» в серии «ЖЗЛ» издана биография Б. Г. Музрукова.

Переводные книжные издания — одно из самых сложных направлений издательской деятельности. Тем не менее, неуклонно расширяется тематика этого направления и круг партнеров. Совместно с Лос-Аламосской национальной лабораторией ВНИИЭФ подготовил и издал на своей полиграфической базе два тома специального выпуска «Плутоний. Фундаментальные проблемы» (перевод английского журнала «Los Alamos Science», 2000, № 26) под редакцией доктора физ.-мат. наук Б. А. Надыкто и кандидата техн. наук Л. Ф. Тимофеевой. Изданы книги «Лос-Аламосский букварь, или Как создать атомную бомбу», «Гений в тени» (биография Л. Сциллярда, написанная У. Лануэттом и переведенная на русский язык физиком-теоретиком ВНИИЭФ доктором наук В. Б. Адамским).

При подготовке к 60-летию отрасли ИПК тесно сотрудничал с Общественным движением ветеранов отрасли. В результате вышла в свет книга «Герои Атомного проекта» под редакцией Л. Д. Рябева.

С ИПК сотрудничают самые лучшие ученые и специалисты ВНИИЭФ с целью популяризации научных достижений, чтобы шаг за шагом восстанавливать и утверждать приоритет знания и научного факта в обыденном поведении людей.

Музей ВНИИЭФ

Сотрудники и гости ВНИИЭФ, жители Сарова — все с огромным интересом посещают историко-мемориальный Музей ядерного оружия ВНИИЭФ.

Музей ВНИИЭФ был открыт 13 ноября 1992 года по инициативе и при активной поддержке В. А. Белугина, занимавшего тогда пост директора ВНИИЭФ. Сначала экспозиция разместилась в спортивном зале политехникума. В новое, специально построенное здание музей переехал в 1995 году.

Бессменный директор музея со дня открытия — В. И. Лукьянов.

Наш музей — это первый музей в стране, рассказывающий об основных этапах создания отечественного ядерного щита. В его экспозицию входят четырнадцать образцов ядерного оружия, пульт подрыва РДС-1 и образцы контейнеров для подземных испытаний, части электронно-вычислительной машины БЭСМ-6.

На стендах расположено около 1500 фотографий, более 200 копий документов.

В декабре 2001 года музей пригласил гостей на открытие нового экспоната: в основной экспозиции появился макет заряда РДС-1. В том, что это произошло, большая заслуга В. А. Белугина. Активное участие в непростой работе, связанной с рассекречиванием заряда и его размещением в зале музея, приняли и другие сотрудники и ветераны ВНИИЭФ, среди них С. Н. Воронин, Е. Г. Малыхин, Л. М. Тимонин, О. Г. Моряков.

Постоянные экспозиции музея:

– история Сарова и Саровского монастыря;
– ядерное оружие СССР;
– история объекта;
– газодинамические исследования;
– испытательный комплекс;
– вычислительный комплекс;
– полигонные испытания;
– фундаментальная физика и физические установки;
– конверсионные работы ВНИИЭФ;
– раздел сменных тематических выставок.

Достижения ВНИИЭФ – это результаты сложнейших научных исследований и уникальных экспериментов. В музее экспонируются макеты установок, разработанных и построенных во ВНИИЭФ, многие из которых и в наши дни не имеют аналогов в мире. Разделы, посвященные ведущим научным и технологическим направлениям деятельности ВНИИЭФ, рассказывают об истории их появления, развитии, сегодняшнем состоянии, о людях, внесших решающий вклад в их развитие.

Центральным экспонатом музея по праву считается макет территории г. Сарова, на котором показаны и улицы города, и производственные и экспериментальные площадки, и окружающие леса с дорогами, реками, озерами.

Музей украшают галерея Героев Социалистического Труда, работавших во ВНИИЭФ, и экспозиция «Трудовая слава ВНИИЭФ», где запечатлены фамилии сотрудников института, отмеченных высокими наградами.

В музее представлена и древняя история наших мест – притягивает взгляды макет Саровского монастыря, а рассказ о более чем двухвековых деяниях монахов всегда увлекает посетителей.

Большой интерес вызывают сменные выставки, посвященные важным датам в истории ВНИИЭФ и атомной отрасли России, и лекции о ведущих сотрудниках и выдающихся достижениях института.

Одной из первых стала интереснейшая экспозиция, посвященная 40-летию Ракетных войск стратегического назначения (декабрь 1999-го). Огромную работу по составлению сопроводительных текстов к экспозиции и подбору иллюстраций выполнил конструктор И. Г. Иванов. Затем на стендах музея появились материалы, подготовленные к 100-летию М. А. Лаврентьева, 80-летию А. Д. Сахарова, юбилейным датам испытаний РДС-1, РДС-6с, РДС-37 и сверхмощной водородной бомбы.

Лекции и экскурсии сопровождаются показом хроникальных лент из архива Минатома и документальных фильмов.

Одна из важнейших форм работы музея – встречи ветеранов ВНИИЭФ – разработчиков и испытателей изделий. Ежегодно 26 апреля в музей приходят участники ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС.

Многие подразделения ВНИИЭФ отмечают в музее свои юбилеи. Сотрудники отделов и секторов, ставших теперь самостоятельными институтами, приходят в музей со своими коллегами из других организаций. Фотография на память – обязательный момент этих трогательных встреч.

Открытие музея

Экскурсия

Открытие нового экспоната

Галерея Героев Социалистического Труда

Макет Саровского монастыря

Сменная выставка

Важной составляющей просветительской деятельности музея являются «открытые уроки» — увлекательные рассказы о работе ВНИИЭФ, которые проводят для старшеклассников ведущие сотрудники института.

Традицией становится проведение торжественных церемоний награждения в стенах музея. Грамоты, дипломы, ордена, ценные подарки вручаются ветеранам ВНИИЭФ, победителям школьных олимпиад, лауреатам научных премий России.

Очень важна для музея работа фотовидеостудии ВНИИЭФ, созданной в 1974 году. За эти годы сотрудниками студии собран огромный документальный материал: фотографии, негативы, кино- и видеоматериалы. Объективы фото- и видеокамер зафиксировали уникальные эксперименты практически по всем направлениям деятельности ВНИИЭФ. Значительная часть этих материалов используется только для специальных отчетов, но по мере рассекречивания они, несомненно, обогатят открытые архивы музея. Большое значение имеют и материалы о производственной и общественной деятельности института, о строительстве новых объектов и спортивных соревнованиях, об отдыхе детей и конкурсах профессионального мастерства. Особую ценность представляют видеоинтервью с известными людьми института, многих из которых, к сожалению, уже нет среди нас.

В последнее время фотовидеостудия ВНИИЭФ занимается созданием документальных фильмов о памятных и юбилейных датах института, его замечательных сотрудниках. Вот некоторые из них : «Россия делает сама» — к 50-летию испытания РДС-1, «Испытатели» — к 40-летию создания отделения 14, «Горячая осень 1961-го» — о создании и испытании в 1961-м году сверхмощного водородного заряда, «Конструктор — личность творческая» — к 50-летию отделения 5. Замечательным людям, работавшим во ВНИИЭФ, посвящены фильмы «Б. Г. Музруков: страницы жизни», «Директор союзного завода № 1» (о Е. Г. Шелатоне), «Главный конструктор» (о С. Н. Воронине), «Точное решение» (о Н. А. Дмитриеве), «Академик на объекте» (о работе М. А. Лаврентьева в КБ-11), «Академик Сахаров. Засекреченные годы».

Зал основной экспозиции музея

Фильмы видеостудии ВНИИЭФ

Вручение благодарности Президента Головкину А. И., участнику испытания РДС-1

Вручение наград полпредом Президента А. В. Коноваловым

В создании этих фильмов принимая участие практически весь коллектив видеостудии: Н. А. Ковалева и В. Н. Орлов (подготовка архивных фотоматериалов, фотосъемка), И. И. Трушкин и С. В. Трусов (видеосъемка, монтаж, компьютерная анимация, звук). Руководил всей работой В. И. Лукьянов.

Филиалом Музея ВНИИЭФ является мемориальный музей-квартира академика Ю. Б. Харитона, открытый 27 февраля 1999 года к 95-летию Юлия Борисовича.

Музей-квартира академика Ю. Б. Харитона

В музее-квартире бережно сохранена обстановка жизни и работы Ю. Б. Харитона в течение последних 25 лет. Экспозиции рассказывают о научной работе академика Харитона, задачах, которые под его руководством решал коллектив ВНИИЭФ, наградах, полученных Юлием Борисовичем за выдающиеся достижения в укреплении обороноспособности страны.

Небольшой коллектив работников музея-квартиры – это референты А. И. Водопьян и О. Е. Еманова и смотритель О. В. Рыжова.

Кабинет Ю. Б. Харитона

Зал для заседаний и приема почетных гостей ВНИИЭФ

Гостиная в музее-квартире

Уголок домашней библиотеки

Экскурсию проводит А. И. Водопьян, много лет проработавший личным секретарем Юлия Борисовича

Академик РАН, Нобелевский лауреат Ж. И. Алферов с супругой (в центре) в музее-квартире Ю. Б. Харитона. Август 2002 года

Фотографии из экспозиции музея-квартиры

Родители Ю. Б. Харитона — Б. И. Харитон и М. Я. Буровская

Ю. Б. Харитон с женой и дочерью. Конец 30-х годов

Ю. Б. Харитон в Кавендишской лаборатории. Англия, Кембридж. 1927 год

Ю. Б. Харитон и Я. Б. Зельдович. Середина 80-х годов

Ю. Б. Харитон в Кембридже после вручения ему диплома доктора философии. 1928 год

Ю. А. Романов, начальник физико-теоретического отделения ВНИИЭФ, Ю. Б. Харитон и начальник математического отделения ВНИИЭФ И. Д. Софронов в машинном зале. Конец 70-х годов

Жизнь города, жизнь людей

Взгляд в прошлое

В 1946 году, когда было принято решение о создании на базе завода № 550 и поселка Саров нового секретного объекта под названием КБ-11, условия для жизни и работы в этих местах были типичны для глубокого захолустья. Вспомним, например, о медицинских учреждениях поселка. В нем имелись больница на 50 мест, поликлиника, малярийный пункт (в связи с сильной заболоченностью местности), аптека. На заводе № 550 был здравпункт. Но состояние этих небольших учреждений оставляло желать лучшего. Вот что писал первый начальник медсанчасти объекта Н. А. Валенкевич в 1947 году:

«Поликлиника находится в центре поселка в двухэтажном каменном здании, причем первый этаж занят жителями и отделением связи. Поликлиника занимает второй этаж, имеет отдельный вход... В пользовании поликлиники находятся 10 кабинетов.., помимо этого в помещении поликлиники две комнаты занимает санотдел строительства № 880, две комнаты – аптека и один кабинет – малярийный пункт».

По этим воспоминаниям можно судить и о том, что представляли из себя другие учреждения социальной сферы поселка – детские ясли, школа, небольшой клуб. Стадиона в настоящем понимании этого слова не было – работники завода устроили лишь футбольное поле на стрелке рек Сатис и Саровка. А воспоминания ветеранов ВНИИЭФ говорят о том, что жилищный комплекс на объекте был более чем скромным.

Строительный субботник

Начало строительства объекта

Финский поселок

Двухэтажный дом финского поселка

Приезжающие специалисты селились в бараках, маленьких финских домиках, в помещениях бывшего Саровского монастыря, поэтому одной из первостепенных задач стало строительство жилья для работников.

Наряду с жилыми домами строились детские сады, ясли, школы, улучшалось медицинское обслуживание, налаживалась организация торговли и службы быта. Очень динамично развивались в поселке учреждения культуры – вопросы организации свободного времени сотрудников КБ-11 имели важное значение, так как большинство их составляла молодежь.

Усилия руководителей КБ, направленные на улучшение условий жизни людей, активно поддерживали сотрудники: они выходили на строительные субботники, благоустраивали территорию, организовывали спортивные секции и кружки художественной самодеятельности.

В самом конце декабря 1946 года в Сарове появился «финский поселок» – 66 сборно-щитовых домиков. В 1947 году развернулось строительство района, который получил название ИТР (там размещались научные и инженерно-технические работники КБ-11). В 1949 году в этом районе уже были 44 двухэтажных дома, несколько коттеджей, детсад и ясли, магазин, гостиница и общежитие. К этому времени на объекте работали три продовольственных магазина, 12 ларьков, магазин готового платья, две столовые и ресторан.

В марте 1947 года открылась библиотека КБ-11 (ныне библиотека им. В. В. Маяковского), год спустя начали работу первые музыкальные кружки, вскоре ставшие музыкальной школой, летом 1948 года состоялось открытие парка культуры и отдыха и стадиона, который теперь называется «Икар». 30 апреля 1949 года начал работу драматический театр. В 1950 году на объекте появились кинотеатр «Москва» и книжный магазин.

Заложенные в период формирования объекта тенденции укреплялись и развивались в последующие годы.

В 1955-м году введены в эксплуатацию четыре детских сада, четверо яслей, школа, столовая. В этом же году открыл свои двери Дворец культуры. Завершилось строительство так необходимого городу мясокомбината.

1956–1957 годы: площадь жилищного строительства составила 25 тыс. кв. метров.

Открылся кинотеатр «Октябрь» на 600 мест. Значительно вырос больничный городок.

В 1959-м году в городе появились пять детских учреждений (всего на 610 маленьких посетителей), лабораторный корпус вечернего института, школа-интернат № 1 и поликлиника завода № 1. Были возведены жилые дома общей площадью 24 тыс. кв. метров.

1960-й год. Введены в строй два детских учреждения, две школы, кинотеатр на улице Колхозной (теперь он называется «Молодежный», а улица носит имя Зернова).

С 1962-го по 1967-й годы появлялись новые школы, детские сады и ясли. Возводились и снабжались необходимым оборудованием помещения для поликлиник и больниц, хозяйственные постройки, общежития, технические сооружения. Появлялись новые водопроводы и теплосети, вырастали жилые дома, реконструировались и прокладывались новые дороги. Не забывали и о магазинах и столовых, холодильниках и теплицах, обустраивали отдаленные заставы и возводили новые постройки в подшефных хозяйствах – совхозах

«Вперед» и «Власть Советов». Стройка становилась непременным атрибутом жизни КБ-11.

В 1967–1973 годах масштабы строительных работ сохранялись. В 1969-м году жилья было возведено общей площадью 15817 кв. м, производственных зданий – шесть; в 1971-м году жилищное строительство было выполнено на площади 20430 кв. м, завершено газообеспечение поселка «Строитель» и кирпичного завода, построена типография ВНИИЭФ. В 1972-м году в городе появилось здание Дома ученых.

В 1974 году построены школа на 1280 учащихся, пять больших жилых домов, теплоподстанция и фруктоовощехранилище на 1600 тонн.

Таким образом, к началу 90-х годов сформировалась социальная сфера ВНИИЭФ. Она включала в себя большой жилищный фонд, четыре общежития, две гостиницы, три пионерских лагеря, принимающие в смену примерно 1200 детей, построенный в Крыму пионерский лагерь «Жемчужный», санаторий-профилакторий на 100 мест, базы отдыха «Прогресс» и «Светлое» на 150 человек в смену, Дворец культуры им. В. И. Ленина, клуб «Прогресс» и Дом ученых. На обеспечение продовольствием жителей города работали два совхоза, городскими пассажирскими перевозками занимался автопарк, вопросы здравоохранения сотрудников ВНИИЭФ решала поликлиника № 2. Для занятий спортом имелись два стадиона с комплексом спортсооружений: тир, плавательный бассейн, теннисные корты.

Каждое лето в Крыму на базе отдыха «Планерское» отдыхало несколько сотен работников института и их детей. За счет средств Фонда социального страхования ежегодно предоставлялось более 1500 путевок на санаторно-курортное лечение и туристические поездки.

Социальная сфера института и города поддерживалась широко разветвленной системой шефской помощи всех подразделений института. Организация и координация этой работы осуществлялась администрацией ВНИИЭФ при участии партийной, профсоюзной и комсомольской организаций.

Система социальной защиты института формировалась в «перестроечные» годы, когда резко снизилась степень социальной защищенности работников атомной промышленности. В целях преодоления кризисной ситуации и разработки мер по социальной поддержке работников и пенсионеров института руководством ВНИИЭФ в августе 1989 года было принято решение о создании отдела социального развития ВНИИЭФ. Спектр вопросов, решаемых отделом, был очень велик. Он включал организацию садовых обществ ВНИИЭФ (чем в заметной мере решались продовольственные проблемы), распределение талонов на товары народного потребления (так преодолевали проблему дефицита), распределение жилья и организацию первого товарищества индивидуальных застройщиков (этим частично улучшались жилищные условия), организацию нормального функционирования объектов социальной инфраструктуры – детских лагерей, спортсооружений, объектов культуры и т. д. Отделом руководил заместитель директора ВНИИЭФ по быту А. Ф. Воскобойник.

Большой вклад в становление и развитие отдела внесли М. М. Гусев, В. И. Лимаренко, А. И. Демин, З. П. Каширская, И. Н. Старостина, В. В. Худикова, Л. А. Жаворонкова, Е. А. Быковникова и другие. Позже на отдел были возложены функции обеспечения санаторно-курортного лечения сотрудников и стра-

Парк им. П. М. Зернова, шахматный павильон (50-е годы)

Городской День молодежи

Кинотеатр «Октябрь» (1958 год)

Строительство Комсомольского парка, 1959 год

Праздник «Русская зима», 1956 год

Саров в 70-е годы

Стадион «Труд»

Вид на городской бассейн

ховая деятельность. В отдел пришли В. Г. Сисяев, Т. И. Ерохина, Н. Б. Бебенина.

Сегодня отдел тесно сотрудничает с профсоюзным комитетом и другими функциональными службами управления и принимает активное участие в реализации социальной политики руководства института, координирует мероприятия по основным программам социальной поддержки, опираясь на российский и международный опыт и собственные разработки в области социальной защиты населения.

Система социальной защиты РФЯЦ-ВНИИЭФ, помимо программ здравоохранения, улучшения жилищных условий, личного страхования, включает в себя мероприятия по дополнительному пенсионному обеспечению неработающих пенсионеров института, оказанию систематической социально-экономической поддержки ветеранам, получившим профессиональные заболевания. Поддержка оказывается малообеспеченным семьям работников. Она включает адресную материальную помощь (в связи с болезнью и низкими доходами) и беспроцентные ссуды на приобретение жилья и дорогостоящее лечение.

Реализация более 50 социальных льгот и гарантий, закрепленных в коллективном договоре, позволяет оказывать своевременную и эффективную социальную поддержку более 10 тысячам человек ежегодно. Весьма значительную роль в этом играет сотрудничество с подразделениями при активном участии таких руководителей и специалистов, как С. В. Тарасов, В. В. Гусаков, Н. Н. Нетесин, Г. В. Комаров, В. П. Порваткина, В. Г. Рогачев, И. Г. Макаров, А. В. Чувиковский, А. В. Ершков и многих других.

Охарактеризуем подробнее отдельные объекты социальной сферы.

Жилье

Отдельные квартиры. К началу 90-х годов более 13600 семей работников института проживали в отдельных квартирах. В очереди на улучшение жилищных условий стояли 6165 семей, и ждать этого улучшения в среднем приходилось 5–6 лет. До 1992 года генеральным застройщиком был ВНИИЭФ.

В настоящее время в улучшении жилищных условий нуждаются более 3000 сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ. За 2001–2004 годы бесплатное жилье получили 279 работников РФЯЦ-ВНИИЭФ, нуждавшихся в улучшении жилищных условий.

В 2002 году РФЯЦ-ВНИИЭФ совместно со Сбербанком Российской Федерации был разработан и освоен механизм выдачи льготного кредита работникам ядерного центра на покупку жилья. Это нововведение позволило более 170 сотрудникам ВНИИЭФ за 2002–2004 годы улучшить жилищные условия.

В 2002 году вступила в действие программа целевого финансирования строительства жилья для иногородних молодых специалистов из средств Минатома РФ. Благодаря ее реализации 256 молодых специалистов, приехавших на работу во ВНИИЭФ, улучшили свои жилищные условия.

В начале 2005 года Росатом утвердил разработанную в РФЯЦ-ВНИИЭФ «Программу улучшения жилищных условий работников ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» на 2005–2009 годы». Она предполагает улучшение жилищных условий более чем 1600 работников института. Основная ее цель – решение жилищной проблемы иногородних молодых специалистов путем предоставления им отдельного жилья. Программа предусматривает возможность приобретения работника-

ми РФЯЦ-ВНИИЭФ жилья за собственные средства при финансовой поддержке института. В ней уделяется внимание и благоустройству действующих общежитий.

В 2005 году создан некоммерческий фонд «Доступное жилье», цель которого – привлечение средств на строительство жилья с последующей продажей его работникам РФЯЦ-ВНИИЭФ на льготных условиях. Участвовать в этой программе изъявили желание уже около 700 работников РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Общежития. С целью улучшения условий проживания в 1990 году ВНИИЭФ построил первое общежитие семейного типа на 144 квартиры, второе такое общежитие появилось в 1994 году. В 1996 году вошло в строй общежитие, комнаты и бытовые помещения которого ничем не отличаются по комфортабельности от современных квартир. В 1998 году было построено еще одно общежитие квартирного типа, и к 2004 году в общежитиях института проживало около 700 семей. Строительство общежитий квартирного типа планируется продолжать.

В создание социальной сферы и строительство жилья наибольший вклад внесли директора ВНИИЭФ Б. Г. Музруков, Л. Д. Рябев, Е. А. Негин, В. А. Белугин, Р. И. Илькаев, их заместители И. М. Куличков, Н. И. Колесников, а также В. В. Захаров, И. А. Ершов, В. В. Малышев и многие другие. Строительство объектов социальной сферы находилось под пристальным вниманием руководителей партийных и профсоюзных организаций, исполкома городского совета, городской думы и администрации города: Н. С. Силкина, А. В. Кузнецова, В. А. Ивановского, В. Т. Солгалова, В. М. Хорошкина, Г. З. Каратаева и других.

Большой вклад в эффективное функционирование объектов социальной сферы внесли начальник жилищно-эксплутационного отдела В. А. Вахрушев, заместители директора института А. Г. Оксинников, А. Ф. Воскобойник, А. И. Фадеев, И. М. Куличков, Н. И. Колесников, Г. Ф. Смирнов. Многое сделали начальник цеха 3300 Ю. В. Зверьков, начальник УМИАТ института В. В. Гусаков, начальник отдела общежитий института Р. И. Алексеева, работающая на своем посту более 35 лет, а также заведующие М. Н. Шмырова, Т. В. Еричева, А. Н. Осипова.

Особое внимание в работе социальной сферы всегда уделялось строительству и достойному обеспечению объектов детских дошкольных учреждений. Среди них особо выделялись специализированные детсады № 1 и № 11 (для детей с дефектами речи), детсад № 44 (для детей с ослабленным здоровьем), детсад № 46 (для детей с нарушениями опорно-двигательного аппарата). Всего в детских дошкольных учреждениях на момент выделения их из структуры ВНИИЭФ в 1992 году содержалось более 6 тысяч детей. Самоотверженный труд персонала детских яслей и садов, их руководителей А. А. Тороповой, Г. А. Огневой, И. Д. Чулковой, Н. Н. Белянинной обеспечил гармоничное, полноценное воспитание и развитие подрастающего поколения саровчан.

С заботой о детях (детские оздоровительные лагеря и базы отдыха)

Большое значение администрация и профсоюзный комитет института уделяют организации детского и семейного отдыха сотрудников института.

Проспект Музрукова

Застройка новых микрорайонов

«Лесная поляна»

Детский городок

Дворец культуры

Участники КВН

На сцене ДК. Ансамбль скрипачей

До 90-х годов в институте функционировали два загородных детских оздоровительных лагеря – «Чайка» и «Салют», которые принимали до 700 детей в смену, и базы отдыха «Светлое», «Прогресс», «Харабали». Большую работу по организации отдыха вели первые директора этих учреждений А. Л. Катаева, И. В. Морковкин, Е. Н. Майоров, Ю. А. Тумкин и старшая пионервожатая Л. В. Михалева.

В 1992 году был построен детский лагерь «Лесная поляна», рассчитанный на 600 мест в каждую летнюю смену и на 250 мест в режиме базы отдыха (осенне-зимний период). Лагерь находится на живописном берегу реки Мокши, занимает площадь в 60 га. На территории расположены девять двухэтажных корпусов, котельная, клуб-столовая, спортивные площадки, оборудована лыжно-роллерная трасса.

По итогам областного смотра-конкурса загородных лагерей в 2002 году «Лесная поляна» заняла первое место. В этом большая заслуга Т. В. Гармаш, В. Д. Черныщова.

В 2005 году после присоединения к РФЯЦ-ВНИИЭФ завода «Авангард» сотрудники института и их дети стали отдыхать в оздоровительном лагере им. Гайдара и на турбазе «Родничок».

Культура

Дворец культуры. Дворец культуры им. В. И. Ленина со зрительным залом на 600 мест и комнатами для занятий коллективов художественной самодеятельности был открыт 5 ноября 1956 года. Первым директором ДК был Сергей Антонович Волков.

С 1 ноября 1990 года Дворец культуры стал называться Центром культуры и досуга. В состав нового учреждения вошли также клуб «Прогресс» и Дом ученых.

Дворец культуры ВНИИЭФ с первых лет своего существования стал настоящим центром культурной жизни предприятия и города. Здесь всегда на высоком художественном уровне проводились большие праздники и юбилейные торжества, спектакли и концерты профессиональных и самодеятельных артистов, фестивали, конкурсы, выставки, детские утренники и вечера отдыха.

В коллективе Дворца культуры всегда работали специалисты высокой квалификации. Почетное звание «Заслуженный работник культуры России» получили:

– Е. П. Маршаков и А. Д. Шевцов – директора;
– С. А. Гусев – хормейстер;
– О. Г. Сидоров – балетмейстер;
– В. Л. Марков – дирижер;
– К. И. Табачук и М. Н. Павлова – художественные руководители;
– А. В. Кузин – руководитель коллектива.

Особое место в работе Дворца культуры ВНИИЭФ всегда занимало народное творчество. В разнообразных творческих коллективах, любительских объединениях, клубах по интересам занимались десятки тысяч человек разного возраста и специальностей. Самодеятельные артисты Сарова с успехом выступают не только на родной сцене, но и в Москве, Дубне, Обнинске, Свердловске, Челябинске, Новоуральске, Пензе, Нижнем Новгороде и городах Нижегородской области. Тепло принимали их в Мордовии,

Башкирии, Узбекистане и странах Европы. Многие творческие коллективы стали лауреатами всесоюзных, всероссийских, региональных и областных фестивалей и конкурсов. За высокое исполнительское мастерство и активную концертную деятельность некоторые из них удостоены звания «Народный самодеятельный коллектив». Это академический хор (руководитель С. А. Гусев), хореографический коллектив под руководством О. Г. Сидорова, эстрадно-джазовый оркестр (руководитель В. Л. Марков), хор русской песни под руководством А. В. Кузина, театр юного зрителя (руководитель заслуженный работник культуры России Б. С. Меликджанов), вокальный коллектив (руководитель Л. В. Новикова), вокально-инструментальный ансамбль «Нижний Новгород» (руководитель В. И. Цуканов), хор ветеранов войны и труда (руководитель К. И. Табачук), камерный хор «Голоса Сарова» (руководитель В. Ю. Богоявленская) и ансамбль русской песни «Сударушка» (руководитель Л. Н. Карпушова).

Центр культуры и досуга ВНИИЭФ работает в тесной связи с Российским федеральным ядерным центром. В нем проходят юбилейные торжества ВНИИЭФ, чествование ветеранов войны и труда, праздничные вечера подразделений предприятия, организуются выездные концерты по месту работы и отдыха сотрудников, программы для родителей с детьми, конференции, встречи, собрания и другие мероприятия.

Дом ученых. Открытие Дома ученых состоялось 2 февраля 1973 года. Его создание – это реализация идеи группы ученых института во главе с профессором В. А. Цукерманом, осуществить которую помог директор ВНИИЭФ Б. Г. Музруков.

Сотрудники Дома ученых под руководством директоров Н. И. Кузьминой (1973–1977), А. Д. Шенцова (1977–1989) и А. А. Ронжиной (с 1989 года) сумели сохранить, развить и преумножить прекрасные традиции, заложенные его основателями.

Сегодня деятельность Дома ученых приобрела совершенно уникальный характер. Ее характеризуют многообразие направлений и высокий уровень проводимых культурных мероприятий. Это единственное в городе учреждение культуры, которое ведет планомерную гастрольную деятельность, начавшуюся в 1990 году первыми в Сарове концертами музыкантов с «большой земли».

Среди наиболее интересных и важных проектов Дома ученых можно отметить:

– вечера памяти «Пример служения науке и Отчизне», посвященные выдающимся ученым и руководителям Российского федерального ядерного центра;

– проведение конференций «Харитоновские научные чтения»;

– проведение школьных Харитоновских чтений;

– презентации научных изданий;

– 33-часовой курс лекций «История Государства Российского»;

– циклы лекций по истории культуры, театра, проблемам религии, философии, медицины;

– фестиваль «Декабрьские музыкальные вечера», посвященный памяти Святослава Рихтера (проводится с 1987 года), собравший созвездие лучших музыкантов страны, среди которых пианисты Н. Луганский, Э. Вирсаладзе, Д. Мацуев, Н. Штаркман, А. Скавронский, В. Селивохин, А. Гиндин; скрипачи Г. Мурка, И. Бочкова, В. Иванов, А. Тростянский; виолончелисты А. Князев, Н. Гутман, Д. Шаповалов, М. Уткин, К. Родин; вокалисты Н. Ткаченко, Л. Казарновская, Н. Ли, Р. Погосов, Д. Корчак; хоровые коллективы: мужской камерный хор (руководи-

Эстрадно-джазовый оркестр

Хор ветеранов

Президиум торжественного заседания

Дом ученых

Бюст Ю. Б. Харитона

тель В. Попов), мужской хор «Древнерусский распев» (А. Гринденко); камерные оркестры «Московия» (руководитель Э. Грач), «София» (С. Пропишан), «Времена года» (В. Булахов), «Академия старинной музыки» (Т. Гринденко); ансамбли «REMAKE», «Терем-квартет» и многие другие;

– фестиваль «Болдинская осень», посвященный 200-летию со дня рождения А. С. Пушкина;

– регулярные концерты классической музыки;

– эстрадные и джазовые концерты, в которых принимали участие Л. Сенчина, О. Пираге, О. Погудин, С. Манукян, джаз-квартет А. Шишкина (г. Н. Новгород) и другие солисты и коллективы;

– вечера бардовской песни;

– литературные вечера, участниками которых в разные годы были известнейшие мастера художественного слова – А. Кузнецова, А. Познанский, Ю. Авдаров, В. Заманский, писатели и поэты С. Кунаев, Л. Бородин, Л. Ковшова, В. Николаев, А. Плотников, Н. Старшинов, Н. Карташова, А. Стрижов, В. Афанасьев;

– театральные встречи с Е. Весником, В. Дворжецким, М. Тереховой, Н. Варлей, А. Михайловым, Театром музыки и поэзии Е. Камбуровой, «Театром Луны», нижегородским Театром юного зрителя, театром драмы г. Сарова, театром «Zooxapк»;

– выставка «Народные промыслы России», где были представлены ведущие мастера Хохломы, Палеха, Гжели, Городца, Павловского Посада, Жостова, Ярославля;

– благотворительные рождественские концерты;

– концерты-лекции «Филармония для детей»;

– «Вечера в Творческой гостиной»;

– Клуб неигрового кино.

Спортивный парад

Научно-просветительская и филармоническая деятельность Дома ученых позволила ему на равных соперничать с крупными областными филармониями в конкурсе «Окно в Россию», учрежденном общероссийской газетой «Культура», и по итогам 1999 года в номинации «Филармония года» войти в число лучших филармоний страны.

В разные годы здесь работало до 15 клубов по интересам и творческих объединений, собирающих ежемесячно до 200 человек.

За 32 года своего существования Дом ученых стал любимым местом отдыха и творческой работы сотрудников института и горожан. В феврале 2004 года у здания был установлен бюст Ю. Б. Харитона в честь 100-летия со дня рождения академика.

Участники парада

Спорт

Знакомство с историей спорта поможет нам глубже понять, какой была жизнь на объекте в течение шестидесяти лет его деятельности.

Создание спортивной базы. Первые успехи. Занятия спортом сотрудники ВНИИЭФ (тогда КБ-11) начали на футбольном поле завода № 550 – уже летом и осенью 1946 года активно проводились товарищеские футбольные матчи.

Организация физкультурно-спортивной работы была возложена на созданный в 1946 году культотдел. Его возглавил М. Г. Новиков, и его усилиями зимой 1946–1947 годов была открыта лыжная база, где выдавались лыжи на 50 человек, и организован пошив 36 пар футбольных бутс.

А летом, в ударном темпе, с энтузиазмом, силами комсомольцев и молодежи СУ-880 и КБ-11 футбольное поле превратилось в первый стадион тогда еще небольшого поселка. Футбольное поле было благоустроено, установлены скамейки для зрителей, построены волейбольная и баскетбольная площадки, и уже в июле 1947 года на стадионе прошли первые соревнования по волейболу.

Летом 1947 года были построены три теннисных корта. Этим видом спорта увлекались научный руководитель объекта Ю. Б. Харитон, физики И. Е. Тамм и Я. Б. Зельдович.

Зимой 1947 года был впервые оборудован каток.

Молодежи на объекте прибывало, поэтому было принято решение построить новый стадион. Работы развернулись весной 1948 года и уже к середине лета были в основном завершены. Праздник открытия стадиона состоялся 17 июля 1948 года. На стадионе были оборудованы футбольное поле с гаревой дорожкой и секторами для легкоатлетов, трибуны для зрителей, два теннисных корта, баскетбольная, волейбольная и городошная площадки, имелась радиофикация и мачтовое освещение. Здесь начали работать секции более чем по двадцати видам спорта.

В августе того же 1948 года на объекте было создано Добровольное спортивное общество (ДСО) «Трактор». Первыми председателями совета ДСО были Анатолий Сергеевич Воронцов (1948–1950 годы) и Олег Александрович Филиппов (1950–1952 годы.) К концу 1949 года в составе ДСО было уже 15 коллективов.

С 1949 года спортивная жизнь закипела. Зимой 1949 года был проведен первый чемпионат по лыжному спорту. Чемпионом объекта среди мужчин на дистанции 10 километров стал Е. И. Забабахин, впоследствии академик, директор РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск).

В первой половине 50-х годов условия для развития физкультуры и спорта на объекте постоянно улучшались. На территориях, прилегающих к зданиям заводов и научных секторов, а также в жилых кварталах было оборудовано много спортивных площадок. Занятия на них проводили тренеры-общественники.

В 1951 году на территории стадиона «Торпедо» был заложен первый крытый спортивный зал. Комитет ВЛКСМ объекта объявил это строительство первой комсомольской стройкой. В соответствии с принятым решением каждый комсомолец объекта должен был отработать на стройке в вечернее время и по выходным дням не менее 20 часов. В 1953 году зал (или, как тогда говорили, физпавильон) на стадионе был сдан в эксплуатацию. Впоследствии он неоднократно расширялся и вот уже пятьдесят лет служит делу развития физической культуры и спорта в городе.

Сегодня невозможно даже перечислить всех, кто являлся в 1946–1953 годах наиболее активными энтузиастами-спортсменами на объекте. В их числе, например, были Юрий Романов, Леонид Кузовкин, Евгений Белянинов, Владимир Родигин, Леонид Тимонин, Людмила Фомичева и многие другие.

Появились новые виды спорта, среди них и такой неожиданный для наших абсолютно равнинных мест, как альпинизм.

Инициатором создания федерации альпинизма стала приехавшая на объект в 1952 году Любовь Яковлевна Пахарькова – заслуженный мастер спорта СССР по альпинизму. Она была не только первой женщиной нашей страны, получившей это звание, но и одним из первых заслуженных мастеров спорта СССР довоенных лет. Врученный ей нагрудный знак, соответствующий этому званию, имел порядковый № 2.

Фестиваль авторской песни

Туристический слет

Мемориал Б. Г. Музрукова

Любовь Яковлевна оставила самую добрую память в сознании многих ветеранов комсомола и спорта нашего города. Совместно с руководителями ДСО она была главным организатором всех основных физкультурно-спортивных мероприятий тех лет, передавая молодежи свою кипучую энергию, задор, собранность, целеустремленность и настойчивость в достижении поставленной цели.

За 50 лет существования федерации в ней прошли альпинистскую подготовку и приобрели опыт походов, экспедиций и восхождений около 1000 горожан.

Звания «Мастер спорта СССР по альпинизму» были удостоены В. И. Шутов, А. П. Давыдов, А. Т. Сухоруков, Ю. М. Малыхин, кандидатами в мастера спорта стали Н. И. Орлов, Л. А. Егоров, Э. Ф. Фомушкин, В. Ф. Коновалов, Н. В. Ярошик, В. Д. Руднев и другие. Альпинисты города участвовали в чемпионатах СССР, прошли маршруты самых высоких категорий сложности, покорили высочайшие пики страны — Коммунизма (7439 метров), Ленина (7127 метров), Евгении Корженевской (7105 метров), Энгельса (7000 метров), Хан-Тенгри. А в 1972 году Ю. М. Малыхин в составе сборной команды министерства стал чемпионом СССР по альпинизму.

При таком интересе молодежи к спорту не удивительно, что уже в 1953 году спортивных площадок стало недостаточно. В связи с этим сразу после завершения строительства физпавильона на стадионе «Торпедо» силы молодежи объекта были переориентированы на строительство стадиона «Дорожник» (ныне стадион ДЮСШ). Строился стадион в 1953—1955 годы.

К концу 1954 года число членов ДСО на объекте по сравнению с 1951 годом выросло в два раза, а в конце июня 1955 года на объект прибыл новый директор — генерал-майор Б. Г. Музруков. Он сыграл огромную роль в развитии спорта на объекте.

Уже осенью 1955 года появилось небольшое здание лыжной базы, а в следующем году вырос 25-метровый красавец-трамплин. К сожалению, высота и протяженность горы приземления для такого трамплина была недостаточной, и после нескольких соревнований прыжки с верхней площадки запретили. Но, по воспоминаниям мастера парашютного спорта и альпинизма Н. И. Орлова, трамплин с 1957 года и до его разборки активно использовали для своей подготовки парашютисты города.

В том же 1955 году на стадионе «Торпедо» была построена первая в городе площадка для хоккея с шайбой. И уже в декабре 1955 года, благодаря усилиям таких замечательных активистов, как А. Колесов, О. Филиппов, В. Сенин, А. Ромашкин, здесь был проведен первый турнир на первенство ДСО.

В 1958 году Б. Г. Музруков одобрил строительство стрелкового тира и 25-метрового бассейна «Дельфин», а также реконструкцию стадиона.

В 1959 был создан объединенный орган управления для руководства физкультурно-спортивной работой в городе — ДСО «Труд». Председателем был избран Б. Г. Музруков, его заместителем — Н. Г. Добровольский. В дальнейшем Н. Г. Добровольский возглавлял Горспортсовет (до 1979 года).

В 1959 году решился вопрос об участии городских спортивных команд в выездных соревнованиях. Уже зимой на первенство области выехали хоккеисты, а в сентябре 1959 года в г. Горький на эстафетное первенство области впервые выехала саровская команда легкоатлетов и заняла первое место. В 1960 году впервые на

выездную встречу отправились шахматисты. В Арзамасе они сыграли товарищеский матч со сборной хозяев и уверенно победили со счетом 8:1.

Период 1960–1990 годов стал «золотым веком» для спортивного движения на предприятии.

В 1961 году состоялась первая спартакиада закрытых городов отрасли. Каждый город проводил соревнования по одному из десяти видов спорта. В нашем городе прошли соревнования по тяжелой атлетике с участием команд других городов.

В последующие годы в рамках спартакиад у нас побывали боксеры, борцы, стрелки, мастера городошного спорта, многоборцы ГТО, пловцы и команды по игровым видам спорта.

В 1961 году в городе был подготовлен первый мастер спорта СССР. Им стал представитель единоборств Н. Дранишников.

В 1962 году на центральном стадионе открылась хоккейная площадка с хорошим освещением и трибунами на 2000 мест. Хороший лед на хоккейном стадионе поддерживал директор стадиона и главный ледовар Н. М. Кокин.

Хоккей был очень любим в городе. Именно хоккеисты одними из первых начали завоевывать призовые места на выездных соревнованиях – сначала в области, а с момента организации в 1961 году спартакиады закрытых городов – на арене Центрального совета физкультуры и спорта министерства.

К концу 70-х годов усилиями спортивных секций и федераций в городе было подготовлено уже около 50 мастеров спорта СССР, 130 кандидатов в мастера спорта, а также двенадцать судей республиканской категории.

В 1980 году за существенные достижения в развитии физической культуры и спорта физкультурной организации ВНИИЭФ, объединявшей 25 первичных коллективов физкультуры, было присвоено звание «Спортивный клуб», а 16 мая 1980 года состоялась учредительная конференция спортклуба, утвердившая его наименование – «Икар» – и избравшая руководящие органы. Председателем клуба стал В. С. Карасев.

Многие из спортивных сооружений спортклуба становились призерами Всесоюзного социалистического соревнования спортсооружений. Их прекрасно обслуживали сотрудники цеха 3300, возглавляемого ветераном спорта города Ю. В. Зверьковым. Самых высоких показателей, кубка и звания победителя Всесоюзного социалистического соревнования по эффективности использования спортсооружений удостаивалась в течение нескольких лет подряд лыжная база «Икар» (заведующий Н. Г. Добровольский). Прекрасная работа лыжной базы позволяла тысячам горожан успешно готовиться к участию в учрежденном с 1980 года лыжном мемориале им. Б. Г. Музрукова.

Традиции сохраняются. В трудные перестроечные годы усилиями руководителей ВНИИЭФ (В. А. Белугина, Р. И. Илькаева, Г. Ф. Смирнова, А. Ф. Воскобойника, А. И. Фадеева и других) спортивная база института поддерживалась в работоспособном состоянии. В этот тяжелый для развития спорта период ВНИИЭФ дополнительно взял в аренду спортзал «Строитель» и перепрофилировал его для занятий теннисом. Соседство такого зала с открытым теннисным кортом создало хорошие условия для проведения крупных соревнований по теннису. В 1993 году при поддержке В. А. Белугина, Р. И. Илькаева, А. И. Фадеева и Г. С. Прохорова был учрежден теннисный турнир на призы РФЯЦ-

ВНИИЭФ. В 2005 году такой турнир успешно прошел уже в тринадцатый раз.

В 2000 году при ЦКиД РФЯЦ-ВНИИЭФ был организован отдел физкультуры и спорта, который с 2003 года стал самостоятельным подразделением. Теперь спорткомплекс свою работу проводит в соответствии с программой развития физической культуры и спорта в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Контроль за выполнением программы осуществляют руководство и профсоюзный комитет РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Финансирование физкультурно-массовой работы осуществляется из прибыли предприятия согласно смете расходов на социальное развитие. Например, в 2004 году на спортивную и культурную работу затрачено 12 млн. 645 тыс. 149 рублей.

Ежегодно разрабатываются и утверждаются планы-календари спортивно-массовых мероприятий. В 2002 году их было проведено 17, в 2003 году – 20, в 2004 году – 21. В 62-х физкультурных группах занимались более 2000 работников института.

Пять лет подряд проводится спартакиада работников РФЯЦ-ВНИИЭФ по девяти (с 2004 года – по 10) видам спорта, в которой участвуют более 20 коллективов физкультуры, объединяющих 50 подразделений (85 % сотрудников) ВНИИЭФ. Сборные команды РФЯЦ-ВНИИЭФ принимают участие в спартакиаде предприятий города по 10 (с 2004 года – по 11) видам спорта. В 2002–2004 годах в своей группе сборная команда РФЯЦ-ВНИИЭФ занимала первое место.

Ежегодно спортсмены РФЯЦ-ВНИИЭФ участвуют в отраслевых и республиканских соревнованиях.

Охрана здоровья во ВНИИЭФ

Поликлиника. Работа в первом российском ядерном центре с самого начала была сопряжена с повышенными требованиями к охране здоровья сотрудников. Врачи всегда были рядом с инженерами, учеными, рабочими, испытателями, но свое собственное помещение поликлиника ВНИИЭФ получила только весной 1961 года. Обслуживание пациентов перешло на более высокий уровень, чему способствовало и постоянное повышение квалификации медиков второй поликлиники. Начало творческой работы коллектива было положено людьми, о которых и сегодня тепло говорят. Это Р. А. Зайцева, Т. Б. Белукова, Н. Н. Новикова, Ю. М. Калашникова, В. А. Комиссарова и многие другие. Первым главным врачом поликлиники был В. Н. Трунов, затем на этом посту работали Л. В. Лунев, В. Н. Блинова, Р. Т. Шишова. С конца 2005 года обязанности главного врача поликлиники исполняет И. А. Макарова.

В поликлинике много новшеств. Компьютеры помогают быстрее разобраться с документами, медицинскими картами, больничными листами, экономят время, облегчают поиск нужной информации. Кабинеты функциональной диагностики, ультразвукового исследования теперь нельзя представить без специального оборудования и опять-таки компьютеров. Оборудованы новыми приборами и кабинеты офтальмологов.

В просторных кабинетах новой поликлиники врачи всех специальностей принимают сотрудников, проходящих плановый медосмотр. Здесь же оборудованы кабинеты для проведения лечебных процедур. Сотрудников удаленных площадок и заводских цехов на местах обслуживают цеховые здравпункты. Вот, например, здравпункт на основной площадке: уютные помещения, приветливый квалифицированный персонал; рядом расположены аптечный киоск и физиотерапевтический комплекс (филиал физиотерапевтического отделения ЦМСЧ-50). Маленький коллектив здравпункта всегда готов помочь пришедшему на прием или выехать по срочному вызову в отдаленное здание.

Медицинская помощь «на колесах» стала новым направлением в работе 2-й поликлиники. Теперь каждое утро врачи выезжают по вызовам тех, кто не может прийти на прием, но нуждается в помощи.

Программы и путевки. Работе по оздоровлению работников ВНИИЭФ уделяется особое внимание. Разрабатываются и финансируются целевые программы, направленные на снижение заболеваемости.

В настоящее время для сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ реализуются целевая программа лечения артериальной гипертензии, комплексная программа «Здоровье» и программа по ранней диагностике и оказанию помощи онкологическим больным.

Программа по санаторно-курортному лечению работников института и их детей предусматривает плановое приобретение путевок. В институте действует соответствующее положение о порядке приобретения и выдачи путевок. Согласно его пунктам и работает отдел социального развития, а также комиссии социального страхования института и его подразделений.

Можно приобрести путевки в санатории, в санаторий-профилакторий, в детские санаторные и оздоровительные лагеря; возможен отдых сотрудников института на турбазах ВНИИЭФ.

В среднем ежегодно в здравницах России поправляют свое здоровье около 4500 работников института и их детей. Все расходы на санаторно-курортное лечение и оздоровление до 2002 года компенсировал Фонд социального страхования и лишь небольшая часть (5–10 % полной стоимости путевок) оплачивалась сотрудниками института. На сегодняшний день в оплате полной стоимости санаторной путевки участвуют средства предприятия и средства самого работника.

Институт заботится и о семейном отдыхе. Более 380 родителей с детьми ежегодно отдыхают по путевкам «Мать и дитя». Особое внимание уделяется семьям, имеющим детей-инвалидов; семьям выделяются бесплатные путевки в первоочередном порядке и преимущественно в санатории южных регионов страны.

Во ВНИИЭФ не остаются без внимания и заботы пенсионеры. В честь 60-летия Победы в Великой Отечественной войне 80 ветеранам были предложены бесплатные путевки в профилакторий. Ежегодно удается направить десятки пожилых сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ в санатории и профилактории за счет средств института.

Начиная с 2001 года РФЯЦ-ВНИИЭФ плодотворно сотрудничает с Компанией речного туризма Волжского пароходства. Прекрасные впечатления у сотрудников института оставляют туристические поездки на теплоходе в Астрахань, Санкт-Петербург, Самару, организованные администрацией института и профсоюзной организацией.

Организация детского отдыха также является неотъемлемой задачей института. Ежегодно в лагеря санаторного типа, расположенные на юге страны, приобретается около 300 путевок, а детский оздоровительный лагерь «Лесная поляна» принимает на отдых более 2000 детей во время каникул. В последние годы институт выделяет средства для отдыха одаренных детей в лагерях Нижегородской области.

Профилакторий. Санаторий-профилакторий ВНИИЭФ – это не только отдых, но и прекрасный способ укрепить здоровье и избавиться от стресса и повседневного нервного напряжения.

Профилакторий открылся в июле 1958 года. Место его расположения выбрано очень удачно: величественный сосновый лес, необыкновенно чистый, наполненный удивительным ароматом воздух и почти осязаемая дивная тишина...

Вспоминая этапы развития деятельности санатория-профилактория, хочется отметить его руководителей – главных врачей Н. И. Замятина, М. Г. Галкина, В. Л. Каляпина. Это были профессионалы своего дела. В настоящее время санаторием-профилакторием руководит врач высшей категории В. К. Маслов.

Санаторий-профилакторий специализируется на лечении заболеваний сердечно-сосудистой, нервной и опорно-двигательной систем, заболеваний органов пищеварения и дыхания.

Открытие нового здания поликлиники, 2005 год

Профилакторий РФЯЦ-ВНИИЭФ

Лечение в профилактории проходит комплексно, включает диетологию, витаминотерапию, аппаратную физиотерапию, лечебный массаж, разнообразное водо- и грязелечение.

Отдыхающие проводят свободное время в прогулках по лесу, в библиотеке. Они могут поиграть на русском бильярде и посетить вечера отдыха. Регулярно с разнообразными развлекательными программами в санаторий-профилакторий приезжают коллективы художественной самодеятельности Центра культуры и досуга ВНИИЭФ.

В настоящее время ведется строительство нового многофункционального корпуса санатория-профилактория. Когда он войдет в строй, то условия пребывания в санатории-профилактории будут отвечать всем современным требованиям, предъявляемым к санаторно-курортным учреждениям. Отдыхающие разместятся в комфортабельных одно- и двухместных номерах со всеми удобствами. В новом лечебном корпусе предполагается открыть кабинеты спелеолечения, психоэмоциональной разгрузки, лечебную сауну, современный тренажерный зал, стоматологический кабинет и многое другое.

Страховая деятельность во ВНИИЭФ

Страховая деятельность в институте организована в соответствии с требованиями законов РФ, приказов Минатома и концепции развития страхования в РФЯЦ-ВНИИЭФ. В течение последних пяти лет специалисты ВНИИЭФ анализировали деятельность крупнейших российских страховых компаний, изучали рынок страховых продуктов и услуг, осваивали новые виды обязательного и добровольного страхования. В эти годы объем средств, отчисляемых институтом на страхование, увеличился более чем в пять раз. Одновременно контролировалось выполнение условий ранее заключенных договоров.

Наряду с обязательным страхованием сотрудников ведомственной охраны института и спасателей аварийно-технического центра заключаются договоры добровольного страхования. Согласно действующему коллективному договору, застрахованы жизнь и здоровье сотрудников, выезжающих для проведения работ на внешние полигоны РФ (в соответствии с постановлением президиума ЦК профсоюза работников атомной энергетики и промышленности). Дети наших сотрудников, отдыхающие в оздоровительных лагерях, застрахованы от возможных несчастных случаев и травм.

Все сотрудники института застрахованы по договору обязательного медицинского страхования (ОМС). Однако зачастую услуги медицинских учреждений в рамках этого договора предоставляются далеко не в полном объеме. Получение дополнительных медицинских услуг (сверх установленных программами ОМС) обеспечивает добровольное медицинское страхование (ДМС).

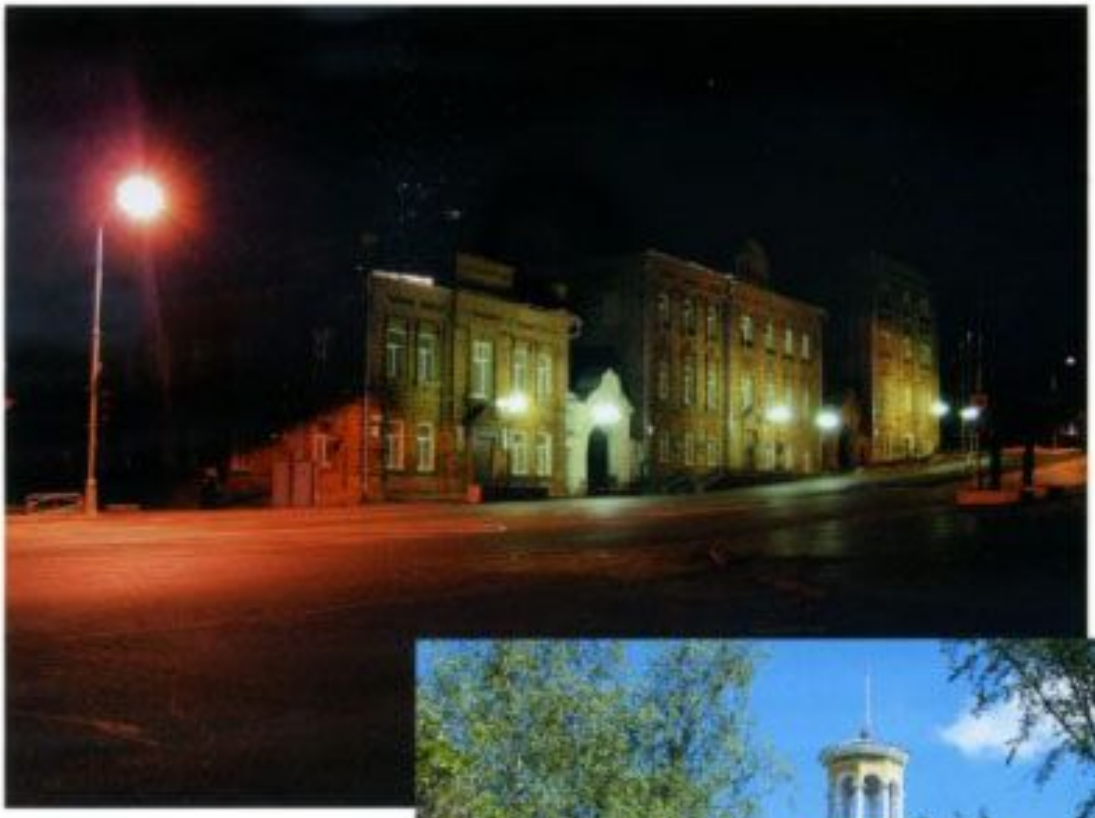
Впервые договор добровольного медицинского страхования был заключен институтом в 2001 году. 720 сотрудников института получили качественную медицинскую помощь в стоматологической поликлинике. Уже в 2002 году, наряду с договором на получение стоматологической помощи, был заключен договор ДМС на медикаментозное лечение. По нему, в дополнение к 1100 сотрудникам, которые прошли лечение у стоматолога, еще 340 человек были обеспечены дорогостоящими препаратами для прохождения амбулаторного лечения.

С целью дополнительного обеспечения наших сотрудников санаторно-курортным лечением в 2003 году был заключен договор ДМС, предметом которого является организация реабилитационно-восстановительного лечения в медицинских учреждениях РФ. Благодаря этому договору 50 сотрудников института поправили свое здоровье в различных санаториях и пансионатах страны.

Ежегодно проводится работа по расширению видов услуг, оказываемых нашим работникам согласно договорам ДМС. В последнее время многие сотрудники вынуждены приобретать дорогостоящие лекарства, а также проходить лечение в клиниках, не имеющих договора с Фон-

дом обязательного медицинского страхования. В связи с этим руководство института приняло решение о заключении договора ДМС с целью обеспечения сотрудников дорогостоящим медикаментозным, амбулаторно-поликлиническим и стационарным лечением в различных медицинских учреждениях РФ. Такой договор был заключен в мае 2004 года.

Таким образом, объем средств, отчисляемых институтом на добровольное медицинское страхование, в 2001–2004 годы увеличился более чем в семь раз.



Содержание

Обращение директора РФЯЦ-ВНИИЭФ Р. И. Илькаева 6

Начало атомной эры 10

Глава 1. Рождение «объекта». Создание РДС-1 13

- *Сделать бомбу 15*
- *«Объект» получает прописку 16*
- *Природа, история, люди 17*
- *Строительство на «объекте» 22*
- *Работа над «изделием» 22*
- *«Объект» набирает силу 25*
- *На пути к успеху 27*
- *До испытания 29*
- *Полигон 30*
- *Готовность 48 часов 31*
- *Взрыв 32*
- *Очень счастливые годы 33*

Члены академии 34

Глава 2. Создание первых образцов советского термоядерного оружия. Работа в КБ-11 в середине 50-х годов 45

- *Горячее лето 1953 года 45*
- *Немного истории 46*
- *Начало проекта 47*
- *Переезд на «объект». Выход на финишную прямую 48*
- *Испытание 50*
- *Мнения и впечатления 51*
- *Итоги важного периода 52*
- *Следующий шаг 52*
- *На полигоне 56*
- *Завершение и начало 56*
- *Работа продолжается 57*

Глава 3. От зарядов — к ядерному оружию 61

- *Одна задача, одна работа 61*
- *Долгий путь поисков и достижений 62*
- *Атомные заряды первого поколения 62*
- *Дальнейший рост арсенала термоядерных зарядов 65*

- *Работы над зарядами второго поколения для стратегических комплексов оружия (1958-1966 годы)* 67
- *Третье поколение зарядов (1966-1990 годы)* 68
- *Плодотворные годы* 69
- *Продолжение и развитие. ПРО и ПВО* 70
- *Важнейшее направление* 75
- *Создание зарядов для нестратегического ядерного оружия* 75
- *Развитие работ по управлению ядерным боезапасом на современном этапе* 77

Глава 4. Институт теоретической и математической физики 79

ФИЗИКИ-ТЕОРЕТИКИ ВНИИЭФ (1956–1986 гг.) 79
- *Совершенствование первичных узлов термоядерных зарядов* 80
- *Совершенствование конструкции термоядерного узла* 81
- *Ядерные средства противоракетной (ПРО) и противовоздушной (ПВО) обороны* 81
- *Исследование вопросов преодоления ПРО* 82
- *Промышленные заряды* 82

РАЗВИТИЕ ОСНОВНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДИК И ПРОГРАММ ВО ВНИИЭФ 84
- *Начальный период (1948–1956)* 85
- *Эксплуатация ЭВМ «Стрела» (1957–1959)* 86
- *Эксплуатация ЭВМ М-20 (1959–1966)* 87
- *Математические разработки на ЭВМ БЭСМ-6 (1966–1981)* 89
- *1982–2000 годы* 91

СОВРЕМЕННЫЕ РАБОТЫ ИТМФ 94
- *Развитие физических моделей* 95
- *Базы данных и библиотеки* 97
- *Новые и усовершенствованные математические методики, программные комплексы и расчетные технологии* 98
- *Физические установки ВНИИЭФ и их роль в совершенствовании физических моделей и математических методик* 100
- *Ненадежно-взрывные эксперименты* 101
- *Экология в широком понимании этого термина* 101
- *Новые направления в работе* 104
- *Развитие вычислительной базы нового поколения* 105

Глава 5. Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва 109

- *История становления* 109
- *День сегодняшний* 110
- *Экспериментальная база* 112
- *Экстремальные состояния вещества* 115
- *Динамическая прочность* 118
- *Газодинамический термоядерный синтез (ГДТС)* 120
- *Гидродинамические неустойчивости* 123
- *Взрывчатые вещества для ядерных зарядов* 127
- *Приложения взрывных технологий* 131
- *Решение проблемы безопасности объектов энергетики* 132

Глава 6. Институт ядерной и радиационной физики 135

- *Страницы истории 135*
- *Ядерно-физические и модельные исследования 136*
- *Физические измерения применительно к созданию ядерных зарядов 138*
- *Критмассовые стенды и исследовательские импульсные ядерные реакторы 140*
- *Ускорители электронов и облучательные комплексы 144*
- *Физические установки с плазменным фокусом 151*
- *Магнитокумулятивные генераторы 152*
- *Мощный источник оптического излучения и ударный стенд 153*
- *Исследования в области радиохимии и аналитической химии 154*
- *Радиоэлектроника и автоматизация 156*
- *Физическая защита, учет и контроль нераспространения ядерных материалов и радиоактивных веществ 158*
- *Участие в международных проектах 161*

Глава 7. Институт лазерно-физических исследований 165

- *Истоки направления 165*
- *Взрывные фотодиссоциационные лазеры 167*
- *Химические фтор-водородные лазеры 168*
- *Газодинамические лазеры 170*
- *Кислородно-йодные лазеры 170*
- *Воздействие лазерного излучения на вещество 171*
- *Мощные лазерные установки для исследования физики термоядерной плазмы 172*

Глава 8. Электрофизические исследования (работы электрофизического отделения и Научно-технического центра физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений) 179

- *Немного истории 179*
- *Физические исследования в сверхсильных магнитных полях 181*
- *Исследования по физике газового разряда и плазмы 182*
- *Разработка импульсных безжелезных бетатронов для импульсной радиографии 184*
- *Развитие техники взрывных магнитокумулятивных генераторов сверхсильных импульсных магнитных полей 185*
- *Магнитокумулятивные генераторы — источники мощных импульсов энергии 186*
- *Эксперименты по разгону металлических лайнеров 188*
- *Термоядерные исследования в области МАГО 190*
- *Транспортабельный имитатор импульса молнии 191*
- *Генерирование мощного импульсного светового излучения 191*
- *Разработка мощных источников мягкого рентгеновского излучения 193*
- *Исследования в области сильноточной СВЧ-электроники 193*

Глава 9. Технологические исследования во ВНИИЭФ 197

- *Достижения прошедших лет 198*
- *Современная деятельность отделения 199*

Глава 10. Отделение радиационной безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ 209

- *Радиационные исследования 209*
- *Работа в Чернобыле 211*
- *Экологическая деятельность 212*
- *Исследования в области биологии 213*

Глава 11. Метрология во ВНИИЭФ 215

Глава 12. Производственная база ядерного центра

- *Завод союзного значения 221*
- *Электромеханический завод «Авангард» 226*

Глава 13. Научно-исследовательский испытательный комплекс РФЯЦ-ВНИИЭФ 231

- *Строки истории 231*
- *НИИК сегодня 232*
- *Методики и подходы 233*

Глава 14. На далеких полигонах 237

- *Создание испытательных отделов 237*
- *Спектр задач, особенности работы 239*
- *Важнейшие этапы 239*
- *Памятные даты 241*
- *Газодинамические исследования на ядерных полигонах 242*
- *Взрыв созидающий 249*

Глава 15. Служба безопасности РФЯЦ-ВНИИЭФ 251

- *Начало атомного проекта. Московский период 251*
- *КБ-11. Первые шаги 252*
- *Новые задания, новые люди 255*
- *Изменения режима в период оттепели 256*
- *Название изменилось, суть осталась 257*
- *Период перестройки 259*
- *Новые службы, прежние обязанности 260*
- *Заботы сегодняшнего дня 261*
- *В рамках международных обязательств 261*

Глава 16. Конверсионные разработки ВНИИЭФ 265

Разработка и совершенствование неядерных вооружений 265
Работы в гражданском секторе экономики 270

Глава 17. Аварийно-технический центр ВНИИЭФ 277

Глава 18. Международное научно-техническое сотрудничество ВНИИЭФ 281

Глава 19. На ниве просвещения 287

- *Отдел технической информации (ОПИИТИ) 287*
- *Издательская деятельность 289*
- *Музей ВНИИЭФ 292*

Глава 20. Жизнь Города, жизнь людей 299

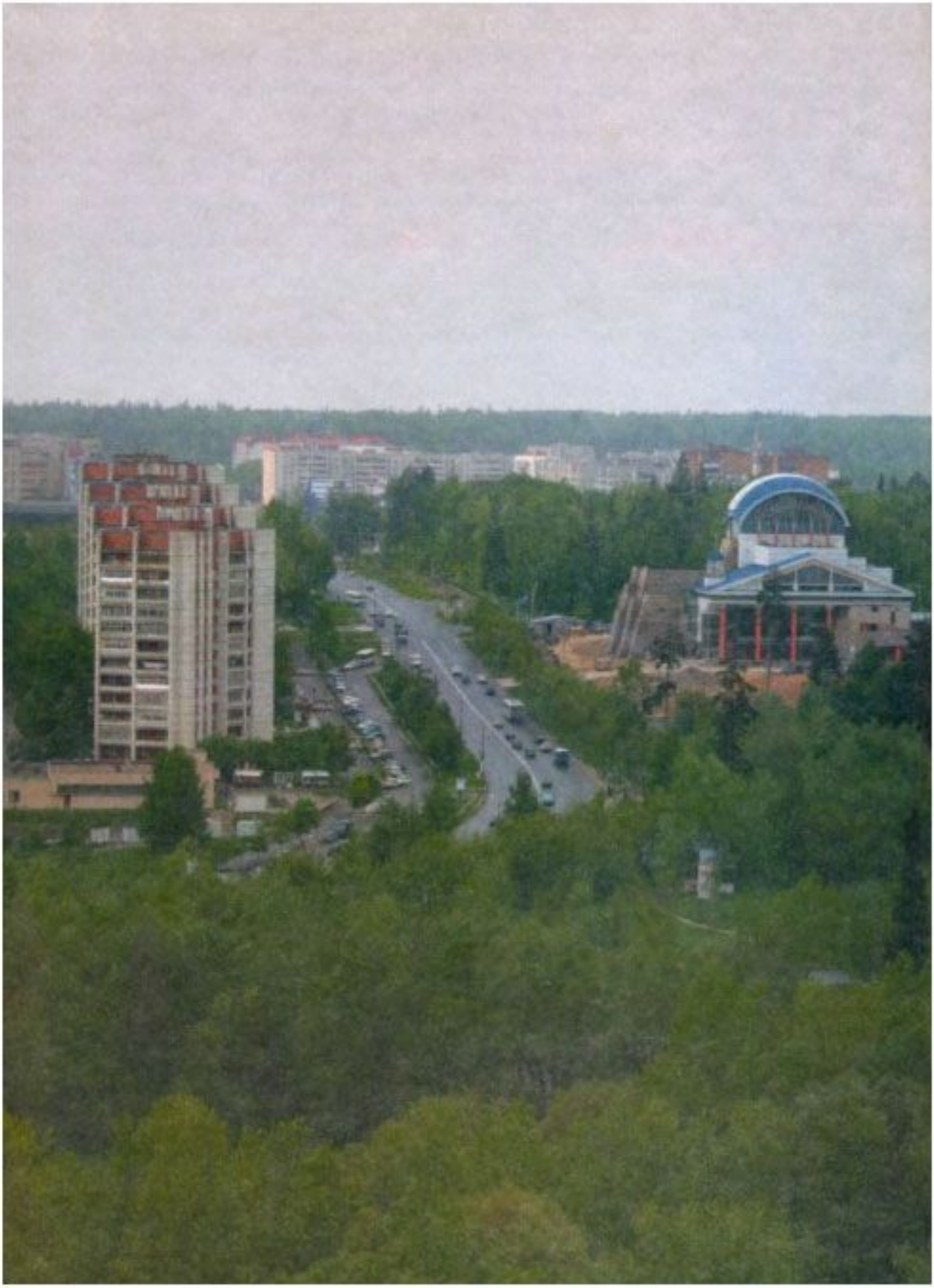
- *Взгляд в прошлое 299*
- *Жилье 302*
- *С заботой о детях (детские оздоровительные лагери и базы отдыха) 303*
- *Культура 304*
- *Спорт 306*
- *Охрана здоровья во ВНИИЭФ 310*
- *Страховая деятельность во ВНИИЭФ 312*

ДОСТОЯНИЕ РОССИИ

РФЯЦ-ВНИИЭФ 60 лет

Автор-составитель Наталья Николаевна Богуненко

Редакторы: Н. Ю. Зимакова, Л. В. Мазан,
В. М. Тагирова, Е. А. Мясоедова
Корректор: Н. Ю. Костюничева
Художественное оформление: Т. В. Андреева
Обработка иллюстраций: И. В. Безуглов, В. В. Ельцов
Компьютерная подготовка оригинала-макета: А. А. Ивлева,
Н. А. Лештаева, Н. Ю. Солук, Д. А. Тукмаков, С. Н. Фролова

Подписано в печать 15.04.2006 Формат 60×90/8 Печать офсетная
Усл. печ. л. 39,6 Уч. изд. л. 35 Тираж 1000 экз. Зак. 248-2006

Издательско-полиграфический комплекс ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ"
Россия, Нижегородская обл., г. Саров, ул. Силкина, д. 23