

ВЗРЫВЫ РАДИ МИРА



Федеральное государственное унитарное предприятие
РФЯЦ-ВНИИЭФ

ВЗРЫВЫ РАДИ МИРА

Саров
2006

ББК 31.4
И 20
УДК 623.454.8 (09)

Авторы: А. Г. Иванов (руководитель авторского коллектива), В. А. Беспалов, Е. В. Савинов, И. Е. Максимов, В. Н. Минеев, Л. И. Кочкин, В. Д. Макаров, В. А. Сеницын, В. А. Рыжанский, Е. З. Новицкий, А. Г. Федоренко, М. А. Сырунин, В. А. Огородников, Н. П. Хохлов, Б. М. Ловягин, А. А. Болотов, В. М. Муругов, В. И. Лучинин, В. Д. Садунов, О. В. Сви́рский.

Взрывы ради мира. Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2006. – 238 с., илл.

ISBN 5-9515-0079-6

В книге изложены открытые вопросы газодинамических взрывных исследований при создании атомных и термоядерных зарядов. Изложены результаты общефизических сопутствующих исследований, проведенных при создании новых взрывных методов исследований, выполненных во 2-й половине XX столетия в отделе 09 Института физики взрыва РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Материал будет интересен молодым сотрудникам и близким рядовых сотрудников, тем, кто работал в экстремальных условиях взрывных работ при создании ядерного оружия.

К читателю

Из публикаций, посвященных истории советского атомного проекта, известна атмосфера теперь уже далеких 40-х годов XX века, когда Советский Союз, страна-победительница во Второй мировой войне, оказался перед угрозой новой войны, теперь уже ядерной. Перед нашей страной встала проблема создания собственного атомного оружия и оснащения им Советской Армии.

Острота международной ситуации, грандиозность и многообразие задач и новых направлений исследований, разработок, организационных, технологических и производственных проблем достаточно полно описаны в целом ряде книг. Отметим здесь, по нашему мнению, наиболее объективные по содержанию книги: “Советский атомный проект”^{*} под редакцией Е. А. Негина и “Как создавалась атомная промышленность в СССР”^{**} А. Круглова, а также многоплановую и публицистическую книгу В. Губарева “Белый архипелаг Сталина”^{***}.

Хорошо известными стали многие выдающиеся организаторы, руководители и ведущие ученые, внесшие определяющий вклад в решение атомной проблемы в Советском Союзе. Естественно, широкому читателю известен только верхний пласт из многих и многих тысяч специалистов, чьим делом жизни стало создание советского ядерного оружия.

На протяжении всей истории ядерно-оружейных разработок в Советском Союзе, особенно в ее первые годы или даже десятилетия, велика была роль в работе непосредственных разработчиков ядерных зарядов так называемых газодинамических исследований. На языке советских, а ныне российских специалистов-ядерщиков под газодинамикой понимается весь широчайший круг вопросов, связанных со взрывными процессами – нестационарными течениями сплошной среды, как предшествующими ядерному энерговыделению, так и вызванными им.

В этом термине определяющим оказалось одно качество сплошной среды при сверхвысоких давлениях взрыва – ее сжимаемость, хотя речь может идти как о реальных газах, так и о “твердом теле”, жидкостях, плазме. Недаром тематикой семи из десяти первых лабораторий будущего Российского федерального ядерного центра-Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ) стали исследования газодинамики ядерных зарядов и свойств обычных взрывчатых веществ. Эти исследования были сосредоточены в научно-исследовательском секторе (НИС), сформированном специальным приказом по “объекту” в 1948 году, под руководством первого заместителя научного руководителя КБ-11 Ю. Б. Харитона,

^{*} Нижний Новгород – Арзамас-16, 1995.

^{**} М.: ЦНИИАтоминформ, 1994.

^{***} М.: Молодая гвардия, 2004.

профессора, а позднее – члена-корреспондента АН СССР К. И. Щелкина. Он же возглавил тогда лабораторию № 5 полномасштабной газодинамической отработки атомной бомбы. Авторы предлагаемой книги – в некотором роде прямые наследники той лаборатории газодинамической отработки РДС-1.

Настоящая книга – из планируемой серии работ “История газодинамических исследований и разработок в РФЯЦ-ВНИИЭФ (в воспоминаниях сотрудников)”. Она охватывает более чем полувековой период становления, развития и творчества одного из отделов современного Института экспериментальной газодинамики и физики взрыва (ИФВ) ВНИИЭФ. Авторами ее являются рядовые сотрудники одного из двух современных отделов, ведущих свою родословную от той самой лаборатории К. И. Щелкина – отдела 25/2 (26, 09, 0309) ИФВ. В их воспоминаниях, написанных порой, может быть, не в лучшей литературной форме, передается атмосфера и условия повседневной жизни на когда-то настроено засекреченном “объекте” за колючей проволокой.

Инициатором и составителем книги стал начальник этого отдела профессор Иванов Анатолий Григорьевич.

Анатолий Григорьевич прошел всю войну 1941–1945 годов и отдал более 50 лет “объекту”. Родился он 3 октября 1923 года в Рязанской области, недалеко от железнодорожной станции Александров-Невская Юго-Восточной железной дороги СССР, между городами Рязанской области и Мичуринск Тамбовской области. Во время Великой Отечественной войны А. Г. Иванов был награжден орденом Красной Звезды, орденом Отечественной войны I ст., медалью “За отвагу”. Демобилизовавшись из армии, поступил учиться на физико-технический факультет МГУ, из которого впоследствии был сформирован Московский физико-технический институт (МФТИ), а ряд специальностей был переведен в Московский инженерно-физический институт (МИФИ), который автор и окончил в 1953 году.

С тех пор вся его трудовая деятельность связана с ИФВ ВНИИЭФ. Анатолий Григорьевич принадлежит ко “второй волне” специалистов, рекрутированных тогда в КБ-11 (ВНИИЭФ). Многие из “первой волны” (1946–1947 годов набора), создатели первых конструкций советских атомных бомб, вскоре уехали, часть из них осталась и работала во ВНИИЭФ долгое время. На их плечи и плечи молодых специалистов “второй волны” легла основная тяжесть создания ядерного щита Советского Союза.

А. Г. Иванов возглавлял отдел более тридцати лет (в 1959–1996 годах). В 1996 году он написал заявление об уходе с поста начальника отдела “по причине достижения преклонного возраста”, находясь в отличной физической форме и сохраняя остроту ума. С тех пор он сосредоточился на научной деятельности: опубликовал научную монографию, печатается в научных журналах. Имя А. Г. Иванова широко известно научной общественности страны и за рубежом благодаря многочисленным публикациям в открытой печати, составляющим лишь видимую “надводную” часть айсберга его деятельности. За “подводную” часть, только обозначенную в этой книге, он стал доктором технических наук (1965 год), профессором (1977 год), лауреатом Ленинской (1962 год) и Государственной (1985 год) премий СССР, заслуженным деяте-

лем науки и техники РСФСР (1991 год), награжден орденом Трудового Красного Знамени (1956 год), орденом “Знак Почета” (1960 год).

А. Г. Иванов вполне мог бы стать членом Российской академии наук, работай он в другом, более открытом институте, даже только за его известные миру пионерские работы по динамической прочности материалов, исследованию электрических эффектов в ударных волнах, созданию уникальных по своим параметрам взрыволокализирующих контейнеров и обоснованию динамической прочности корпусов ядерных реакторов. Этой проблемой его коллектив занялся задолго до Чернобыльской аварии вопреки скептическому тогда отношению к этой тематике некоторых высоких московских руководителей. Но... такова судьба “закрытых” российских ученых. Как-то беседуя с одним из коллег из Лос-Аламоса, я упомянул об этом, на что получил резонный ответ: “Ну да. Академия наук – это ведь другая, открытая, организация. Вы же работаете на режимном предприятии Минатома”.

Еще один штрих к портрету А. Г. Иванова. Идет 1985 год. Я – молодой заместитель начальника отделения ВНИИЭФ. За работы отделов А. Г. Иванова и Ю. М. Стяжкина (другой столь же маститый ученый ИФВ) готовятся списки награждаемых орденами и медалями – около 50 человек. Тогда, многие помнят, парткомы и профкомы согласовывали эти списки в соответствии с разрядкой: столько-то руководителей, столько-то ученых, инженеров, рабочих и т. п. Ко мне подходит Анатолий Григорьевич: в его отдел “спущена” разрядка, но не хватает, по его критериям и оценке реального вклада, одной награды инженерам. А вот одним рабочим из своего отдела он мог бы “пожертвовать”. Я ходатайствую перед “вышестоящими инстанциями” об изменении разрядки – безуспешно. А. Г. Иванов, подумав, заявляет: “Ну что же, не дадим А. Т. Шитову (начальник группы. – *А.М.*). Он фронтовик, он поймет”. Я, желая сгладить неловкость и имея мало опыта в таких делах, говорю: “Ну да, на фронте ведь награды давали за дело, а не по разрядке”, на что получил разъяснение: “Да нет. И на фронте было всякое. Иной всю войну на передовой, а на груди только “За победу над Германией”. А другой всю войну в штабе, и вся грудь в орденах. Шитов поймет”.

Таков А. Г. Иванов – прямой и однозначный в словах и действиях, богатый и многогранный в науке.

А. Л. Михайлов,
директор Института экспериментальной
газодинамики и физики взрыва (ИФВ)
РФЯЦ-ВНИИЭФ

ВВЕДЕНИЕ

История зарождения и становления сектора 3 – впоследствии ставшего отделением 03, а затем Институтом экспериментальной газодинамики и физики взрыва (ИФВ) подробно изложена профессором Л. М. Тимониным в научно-популярном журнале “Атом” (2002. № 21). Датой его рождения следует считать май 1952 года.

В апреле 2002 года в актовом зале института отмечалось его пятидесятилетие. К этому времени в ИФВ уже работало около 900 ученых, инженеров и рабочих разных профессий, в том числе 13 докторов наук, более 70 кандидатов наук, десятки лауреатов Ленинской и Государственных премий СССР и РФ, премий Правительства РФ, кавалеров орденов и медалей СССР и РФ. Были заслушаны доклады руководителей ведущих отделов ИФВ. Было отмечено, что помимо работ в рамках оборонной программы Минатома РФ проведены фундаментальные и прикладные исследования совместно с РАН и лабораториями других стран, выполнены договорные работы в области взрывных технологий для ряда организаций.

Известно, что окончание Второй мировой войны совпало с разработкой в США атомного оружия. Перед СССР, установившим в Восточной Европе коммунистические режимы, остро встал вопрос о необходимости достижения паритета в ядерном вооружении для защиты своих завоеваний. В 1949 году в СССР был испытан первый атомный заряд РДС-1, который, как стало известно большинству сотрудников позже, по своей принципиальной схеме воспроизводил в основных чертах американскую конструкцию. Такой выбор был сделан не потому, что у нас не могли ничего лучше придумать. Не должно было быть отказа при его испытании. Как заявил И. В. Сталин, если бы мы не создали свою атомную бомбу еще год–полтора, мы испытали бы ее действие на себе. Надо думать, что основания для такого заявления у него были. Академик Е. Велихов так оценивает ситуацию: “1949 год – это критический год в истории науки и нашего государства. Представим на мгновение, что физикам не удалось бы взорвать бомбу! (Разве они были застрахованы от ошибок и неудач?) Думаю, что гнев Сталина был бы беспощаден и история нашей страны, а следовательно, и всей цивилизации могла быть иной...”^{*} Так, в 1946 году, когда мы только приступили к разработке ядерного оружия, США имели уже 70–80 ядерных зарядов. Улучшив конструкцию РДС-1, в следующих испытаниях двух зарядов отечественной разработки в 1951 году их вес и наружный размер были уменьшены в сравнении с первым зарядом (РДС-1), соответственно, на 30 % и 17 %, а их энерговыделение возросло в 2–2,2 раза^{**}.

^{*} Губарев В. Белый архипелаг Сталина. – М.: Молодая гвардия, 2004.

^{**} Негин Е. А. Хочешь мира – будь сильным. Арзамас-16.: ВНИИЭФ, 1996.

Конечно, законы природы едины. И в любой стране найдутся свои Тэллеры и Уламы, равно как Сахаровы и Зельдовичи. Далеко не одинаковы были условия жизни людей. Страна пережила ряд предвоенных катаклизмов. Это насильственная смена государственной власти, гражданская война, разгром храмов и монастырей, установление тоталитарного коммунистического режима, гонения на интеллигенцию, раскулачивание крестьянства, было репрессировано 87 % высшего командного состава Красной Армии, образование ГУЛАГа. Все это было. Было и следствие – быстрая оккупация промышленно развитой части СССР с одновременной потерей большей части (3–3,5 млн. человек) кадровой армии, с последующим обнищанием населения.

Страна-победитель, установившая коммунистические режимы и в странах Восточной Европы, отдавшая за победу более 27 миллионов жизней своих солдат, оказалась у “разбитого корыта”. Сотни тысяч солдат, спустя 60 лет после войны, остаются захороненными. “За околицей поселка Мясной Бор Новгородской области несколько десятков человеческих черепов смотрят пустыми глазницами на собственную могилу. И не могилу даже, а на большую воронку, куда их наскоро свалили в феврале 1942 года... Метрах в 200 от федеральной трассы Москва – Санкт-Петербург лежит скелет. Трехлинейная винтовка с примкнутым штыком (приклад и ложе давно сгнили), пара лимонков, несколько десятков патронов. Сквозь прореху в кирзовом сапоге можно увидеть аккуратненькие кости пальцев ног. Прости, солдат, мы никогда не узнаем, как тебя звали... Здесь лежат захороненными 20 тысяч солдат”*. Учредив орден Суворова, забыли его наказ, что война кончается тогда, когда похоронен последний павший солдат.

Кто мы? Может быть, пора уже выполнить свой долг перед павшими? Или уже ничего святого в наших душах не осталось?

Даже палачи НКВД, поставившие на конвейер смерти порядка 50 тысяч невинных людей в 1937–1941 годах под Минском, погребли их**. В застенках НКВД после длительных издевательств (с 06.08.40 г. по 26.01.43 г.) окончил свой земной путь и Н. И. Вавилов. В статье А. Тахтаджяна “Континенты Вавилова” (Литературная газета. 25.XI.87, № 48), посвященной его жизни и творчеству, читаем: «Известный генетик, профессор Гарвардского университета (США) Карл Сакс спрашивал в 1945 году в журнале “Сайенс”: “Где Вавилов, один из величайших русских ученых, один из величайших генетиков мира?”» Однако и в 60-е годы, обстановка в стране была такова, что ставший всемирно известным С. Королев после запуска Ю. Гагарина в космос по-прежнему не исключал, что откроется дверь и ему скоман্দуют: “Вставай, падла, – в лагерь”***.

Все эти и последующие события протекали у нас на фоне появления ГКЧП, распада СССР, бандитского передела народной собственности, временного запрета компартии, резкого обнищания простого народа и дефолта 1998 года.

* Осипов С. Мясной Бор на костях // Аргументы и Факты. 2003, сентябрь, № 37.

** Матуковский Н. Правда о Куропатах // Известия. 26.XI.88.

*** Любимов Ю. Не на то мы свой ум направляем // Аргументы и Факты. 2004, № 26.

Конечно, история не имеет сослагательного наклонения, однако говоря словами Р. Гамзатова, “не стоит стрелять в прошлое из пистолета, иначе оно выстрелит в тебя из пушки”. Все так. Именно вследствие тоталитарного режима в стране и ГУЛАГа, страна успешно вступила в противоборство с США по достижению паритета в разработке атомного и термоядерного оружия. Он достаточно быстро был достигнут.

Процесс разработки конкретных конструкций (изделий) атомного и термоядерного зарядов складывается из ряда основных этапов. Первым из них является теоретическое и математическое обоснование предлагаемого изделия, вторым – его конструкторская проработка. Этому этапу посвящена книга Г. А. Соснина [2]. Автор 47 лет проработал в КБ-11. Помимо описания этапов создания атомного и термоядерного зарядов коснулся и процесса создания необходимой промышленной базы, а также дал краткие характеристики главным руководящим и научным кадрам, привлеченным к решению этой задачи.

Следующим этапом процесса разработки и создания атомного и термоядерного зарядов является их газодинамическая отработка во взрывных опытах на внутренних полигонах и в лабораториях. Основной ее задачей является экспериментальная проверка как теоретических идей и выполненных машинных расчетов, так и корректности конструкторского воплощения их в реальные изделия. Эти исследования проводятся, как правило, первоначально в модельных опытах, а затем на полномасштабных конструкциях, с заменой ядерно-активных материалов на инертные.

Главная цель исследований этого этапа состоит в регистрации протекания высокоскоростных процессов, предшествующих ядерному энерговыделению, и сравнении их с теоретически расчетными величинами. Процесс регистрации длится в течение нескольких десятков миллионных долей секунды (мкс), а отдельные, наиболее интересные, важные события могут протекать всего за доли мкс.

Процесс становления экспериментальной базы при разработке первого атомного заряда РДС-1 и его испытания подробно изложен в книге В. И. Жучихина “История создания первой атомной бомбы в СССР. Записки инженера-исследователя” (Снежинск, 1990).

Наиболее трудными и сложными явились два направления исследований:

– создание фокусирующего слоя из 32 баратоловых линз;

– разработка и создание растрового метода регистрации асимметрии сферического схождения детонационных и ударных волн.

Определяющая роль в решении второй задачи принадлежит А. Д. Захаренкову. Он же вместе с Г. Д. Соколовым и А. С. Дубовиком (ИХФ) разработали схему и ТЗ на экспериментальный вариант скоростного фоторегистратора (СФР), а его окончательный вариант СФР-2М, созданный в ИХФ, прослужил десятки лет без существенных изменений.

В 50–60 годы прошлого столетия основными методами исследований являлись методы высокоскоростной фотографии (режим регистрации посредством щели, растра и лупы времени), электроконтактные, осциллографические измерения, исследования методом термоядерного инициатора (ТИ), а также исследования на малых так называемых модельных сборках. Велись они ино-

гда на импульсных рентгеновских установках с электроисточниками, собранными по схеме Аркадьева – Маркса.

Режимные требования, особенно в первые годы существования КБ-11 были необычайно жесткими.

Чрезвычайно велика была и роль научного руководителя КБ-11 Ю. Б. Харитона. “Мы должны знать в 10 раз больше, чем нам требуется сегодня”, – такой его подход к исследовательской работе способствовал широкому фронту научных исследований, результаты которых рано или поздно оказывались необходимы для решения основных задач.

В экспериментальных исследованиях не бывает мелочей, особенно во взрывных опытах по разработке атомного и термоядерного оружия. Этот жестко проводимый Ю. Б. Харитонов принцип позволил исключить аварии, подобные Чернобыльской, при создании атомного и термоядерного оружия.

В отличие от ряда начальников много меньшего ранга, защищенных секретарями и охранниками, не было случая, чтобы к Ю. Б. нельзя было попасть для решения не только научно-технических вопросов, но порой и личных.

В процессе отработки различных видов атомного и термоядерного зарядов после испытания РДС-1 выделим, вслед за Г. А. Сосниным, следующие этапы, соответствующие фактически полностью газодинамической стадии отработки зарядов.

Первым этапом явилось создание РДС-1.

Второй этап (1951 год). Разработка зарядов РДС-2, РДС-3, новой системы детонационного инициирования ВВ (предложение Некруткина) и способа обжаривания делящихся материалов (оболочка – ядро).

Третий этап (1953 год). Создание первого ТЯ заряда РДС-6с (схема Тамма – Сахарова). Разработка РДС-41 – атомного снаряда, тактического заряда РДС-4Т, разработка заряда РДС-3 с источником нейтронного инициирования (ИНИ).

Четвертый этап (1955 год). Разработка ТЯ заряда РДС-37 по схеме Сахарова, Зельдовича, Трутнева.

Пятый этап (конец 50-х годов). Создание атомных зарядов с ТЯ усилением по предложению Зельдовича, Харитона, Забабахина, Щелкина.

Шестой этап (60-е годы). Применение новой системы детонационного инициирования. Внедрение безопасных ЭД. Разработка зарядов, стойких к поражающим факторам ядерного взрыва (ПФЯВ). Разработка и испытание ТЯ заряда мощностью 50 Мт и т. д.

Седьмой этап (70–80 годы). Дальнейшее развитие атомного и термоядерного зарядостроения. Разработка зарядов следующих поколений, с повышенной боевой готовностью и максимальной безопасностью, с возможностью избежать аварийных ситуаций и т. п.

В статье директора ИФВ Анатолия Леонидовича Михайлова (Атом, № 21, 2002) дан краткий обзор проведенных газодинамических исследований во ВНИИЭФ, и в частности, в ИФВ, приведены фотографии его прародителей, даны краткие характеристики ряда выполненных фундаментальных и прикладных исследований: экстремальных состояний веществ, динамической прочности материалов и конструкций, гидродинамических неустойчивостей,

газодинамического термоядерного синтеза, физики детонации и энергетических материалов, электрических эффектов, оптических исследований, физики и техники магнитокумулятивных явлений, безопасности, гражданских приложений взрывных технологий, многоканальных временных измерений, электрических методов измерений, фотохронографические исследования.

Выполнение ряда этих исследований позволило создать атомное и термоядерное оружие отечественной разработки.

Первым начальником сектора 3 в мае 1952 года был назначен Василий Константинович Боболев, удостоенный звания Героя Социалистического Труда за участие в создании первого транспортабельного ТЯ заряда РДС-бс, испытанного в 1953 году. До этого он возглавлял отдел 25/2, будущий отдел 26 сектора 3. С 1998 года начальником отделения 03 (бывшего сектора 3), а с 2000 года директором ИФВ является Анатолий Леонидович Михайлов.

Настоящая книга является частью истории развития и становления Института физики взрыва и посвящена одному отделу 09 (25/2, 26, 0309). Первоначальной задачей отдела являлась газодинамическая отработка атомных, а несколько позже и термоядерных зарядов фотохронографическим методом на натурных блоках. По мере развития новых тематических направлений, привлечения и разработки новых методов изучения высокоскоростных взрывных процессов росла квалификация сотрудников, увеличивалось их число.

С мая 1952 до 1955 года отдел 26 (25/2) возглавил талантливый инженер-исследователь Александр Дмитриевич Захаренков (впоследствии ставший заместителем министра МСМ). После его ухода отделом руководил ближайший его коллега, Николай Александрович Казаченко – один из пионеров разработки фотохронографического метода, высокоскоростной лупы времени. С переходом Н. А. Казаченко на должность начальника сектора исполняющим обязанностями начальника отдела, а в 1959–1997 годах начальником отдела являлся Анатолий Григорьевич Иванов. Он же по совместительству в 1962–1966 годах исполнял обязанности заместителя начальника сектора 3 по научно-исследовательским вопросам. В 1997 году начальником отдела 09 ИФВ стал Борис Федорович Рождественский.

Помимо основной задачи, порученной отделу, уже в 1953 году Захаренков сформулировал и другие важные направления. Это исследование устойчивости сходящихся оболочек при действии начальных возмущений, характерных для фокусирующих слоев, а также освоение регистрации динамических характеристик зарядов.

При организации сектора 3 отдел 26 насчитывал 16–18 сотрудников, а после организации предприятия НИИ-1011 сократился фактически вдвое. В отделе остались Н. А. Казаченко, В. С. Кустов, Б. С. Калашников, А. Г. Олейник, А. Г. Иванов, Ю. В. Лисицын, А. М. Андреев, Л. И. Кочкин, Е. В. Савинов, В. А. Беспалов. С расширением исследований по новым направлениям кадровый состав отдела постепенно пополнялся молодыми специалистами и превысил 100 человек. К 50-летию организации сектора (ИФВ) отдел 09 насчитывал 5 лабораторий и отдельных исследовательских групп.

В 1968 году в отдел вошла основная часть отдела 19, ставшая лабораторией 26/3 во главе с Ивановским В. А. Главной ее задачей на первом этапе

явилась разработка и создание установок для синхронного подрыва десятков вновь созданных безопасных электродетонаторов (ЭД), удаленных на десятки метров. После защиты В. А. Ивановским кандидатской диссертации и переходом на партийную работу, лабораторию 26/3 с 1972 года возглавил Е. З. Новицкий.

В 1973 году из отдела 09 выделилась самостоятельная лаборатория № 0316 С. А. Новикова для разработки методики и проведения зачетных испытаний изделий с помощью ВВ.

ГЛАВА 1

КРАТКИЕ ИТОГИ РАБОТЫ ОТДЕЛА 09 ИФВ ЗА 50 ЛЕТ

1.1. Атомные заряды

Газодинамическая отработка атомных зарядов. Симметрия схождения оболочек. Их динамические характеристики.

Исследования велись в следующих направлениях:

1. Устойчивость симметрии схождения оболочек. Развитие возмущений различных гармоник при схождении оболочек. (Роль прочности и вязкости материала, влияние стыков деталей и зазоров между ними, подвески, разнотипности ВВ, допусков и т. п.).

2. Исследование природы и степени засорения пространства перед сходящимися оболочками в зарядах с ТЯ усилением [1].

3. Влияние системы детонационного инициирования (СДИ) различной конструкции на симметрию и динамические характеристики сходящихся оболочек различных типов.

4. Сравнение динамических характеристик при использовании ВВ различной природы.

5. Газодинамика осесимметричных зарядов.

6. Сравнение асимметрии схождения оболочек из различных материалов.

7. Защита аппаратуры импульсного нейтронного источника инициирования (ИНИ) от разлетающихся продуктов взрыва заряда.

Выполнение п. 1 в начале 1953 года А. Д. Захаренковым было поручено А. Г. Олейнику. Первоочередность этих исследований была вызвана переходом от безззорного заряда РДС-1 к оболочечно-ядерным конструкциям [1, 2]. Остро встал вопрос об устойчивости схождения оболочек. Несколько позже к нему были привлечены В. Н. Минеев, Е. В. Савинов, В. Д. Макаров. В последние годы дальнейшие исследования этого плана явились предметом докторской диссертации В. А. Огородникова.

За истекшие 50 лет газодинамическая отработка фактически всех атомных зарядов, разработанных в КБ-11, в том числе принятых на вооружение, проходила через отдел. Главными исполнителями этих работ, а также всех других исследований (п. 2–6) были Б. С. Калашников, В. С. Кустов, Ю. В. Лисицын, В. А. Беспалов, Ю. С. Пономарев, А. И. Чеканов, Е. З. Новицкий, Б. М. Ловягин, В. Н. Минеев, В. В. Новиков, С. А. Новиков, Л. В. Васильев, А. Г. Иванов, Е. С. Антонец, Б. Ф. Рождественский, В. Ф. Новиков, Ю. Д. Лавровский, В. А. Огородников и др.

Выполнение п. 7 все эти годы было основной задачей Л. И. Кочкина.

Идея перехода от сплошного ядра РДС-1 к последующим зарядам оболочечно-ядерной конструкции была предложена Л. В. Альтшулером, Е. И. Забахиным, Я. Б. Зельдовичем и К. К. Крупниковым [1]. Не менее революционным шагом явился переход от системы СДИ РДС-1 к системе СДИ, предложенной В. М. Некруткиным.

На этом этапе работ были успешно испытаны заряды РДС-2 и РДС-3, которые открыли возможность для разработки более мощных и экономичных зарядов меньшего габарита. Так по сравнению с зарядами РДС-2 и РДС-3 (1951 год) к 1955 году удалось добиться уменьшения диаметра ядерных зарядов в 3 раза, а их массы – более чем в 7 раз [1].

Внедрение зарядов с другими фокусирующими элементами, переход к безопасным ЭД, разработка зарядов с ТЯ усилением, зарядов, стойких к поражающим факторам ядерного взрыва, “чистых” зарядов, а также зарядов для разделяющихся ГЧ – вот направления газодинамических исследований в последующие годы [2].

1.2. Термоядерные заряды

Первый ТЯ заряд был предложен А. Д. Сахаровым, работающим тогда в группе И. Е. Тамма. Этот заряд РДС-36 (РДС-6с)* был выполнен в транспортном виде, при испытании его 12 августа 1953 года была зафиксирована мощность, в 20 раз превышающая мощность атомного заряда, сброшенного на Хиросиму. В газодинамической отработке этого заряда активное творческое участие приняли В. К. Боболев, А. Д. Захаренков, Н. А. Казаченко. Первому из них было присвоено звание Героя Социалистического Труда, а двое других позже удостоены званий лауреатов Сталинской премии.

Следующим этапом развития ТЯ оружия явилась двухстадийная схема в СССР, предложенная А. Д. Сахаровым, Я. Б. Зельдовичем и Ю. А. Трутневым. Она основана на принципе обжатия термоядерного узла (ТЯ) энергией излучения, выделяющейся при взрыве атомного заряда. Аналогичные заряды такого класса 1–2 годами ранее были предложены в США Тэллером и Уламом. Типичная схема американского заряда этого класса приведена на рис. 1.

В отличие от ТЯ зарядов США, в отечественных зарядах каскад ТЯ усиления имеет сферическую форму – удачное наследие одноступенчатого заряда РДС-36. Основной задачей газодинамической отработки зарядов этого класса (рис. 1) являлась защита

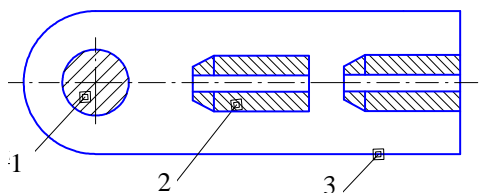


Рис. 1. Типичная схема ТЯ заряда (бомба МК-17): 1 – атомный заряд; 2 – каскады ТЯ усиления; 3 – отражающий излучение слой [4]

* Под заряды этого класса было начато создание носителей большой грузоподъемности. Такая ракета в 1957 году вывела искусственный спутник, а в 1961 году космический корабль с Юрием Гагариным [3].

отражающего слоя 3 и узла ТЯ каскада 2 от продуктов разлета атомного заряда 1 вплоть до момента ТЯ взрыва. На рис. 2 приведена фотография разлета РДС-1. Схема снижения асимметрии и разнородности разлета различных участков атомного заряда достигалась как модернизацией фокусирующих слоев, так и, при острой необходимости, установкой локальных преград. Первый разведочный опыт применительно к этому типу заряда по просьбе А. Д. Сахарова был проведен В. С. Кустовым в 1953 году с использованием метода фоторегистрации и лупы времени. Заряд РДС-37 был успешно испытан 22 ноября 1955 года на высоте 1550 м. Его мощность составила 1,6 Мт! [1]. Он явился основой для разработки последующих ТЯ зарядов, позволивших в короткое время установить паритет с США в области вооружений.

Эффективность работы ТЯ заряда не в последнюю очередь зависит от свободного объема, не занятого атомным зарядом и ТЯ узлами. Это означает, что за интервал времени от момента срабатывания СДИ до момента атомного взрыва слой, отражающий излучение (кожух), должен сохранить свою целостность. Как следует из рис. 2, асимметрия разлета РДС-1 чрезвычайно велика. Она существенно сократилась при отказе от СДИ заряда РДС-1. И хотя относительная толщина новой СДИ резко сократилась, интервал времени формирования сферической волны, при одном и том же количестве элементов в СДИ, сохранился. Наиболее интенсивное воздействие разлетающихся продуктов взрыва СДИ и основного заряда ВВ на кожух оказывалось в области тройных и, несколько меньше, двойных стыков элементов СДИ.



Рис. 2. Контрольный взрыв макета атомной бомбы РДС-1 [5]

Этот цикл исследований заряда РДС-37 был отмечен большим количеством правительственных наград. Трое сотрудников отдела: В. С. Кустов, Б. С. Калашников и А. Г. Иванов – были награждены в 1956 году орденами Трудового Красного Знамени.

ТЯ заряды типа РДС-37 были модернизированы согласно предложению Ю. А. Трутнева и Ю. Н. Бабаева. Заряды этого класса различных габаритов и предназначения, удовлетворяющие требованиям многих родов войск, в течение последующих 4–6 лет прошли газодинамическую отработку и полигонные испытания. Следует отметить, что основной объем газодинамических исследований этих зарядов был выполнен ме-

тодом высокоскоростной фотографии. Двое сотрудников отдела, А. Г. Олейник и А. Г. Иванов, за работы по созданию атомных и термоядерных зарядов были отмечены Ленинскими премиями в 1962 году. Большую помощь в работе оказал начальник сектора 3 Н. А. Казаченко. Его деятельность в 1966 году была отмечена Ленинской премией.

Разработанное оружие этого типа находилось в октябре 1962 года на Кубе и явилось причиной Карибского кризиса. Как близок был мир к развязыванию третьей мировой и уже ядерной войны. При соотношении 17:1 в тот период ядерных сил США и СССР, в такой войне в первую очередь пострадала бы Россия. Для меня очевидной стала и причина трагической смерти Джона Кеннеди. Конечно, не могла ему простить военная хунта США такой “просчет” – малой кровью покончить с “коммунистической империей зла”.

В конце 50-х годов начал внедряться способ термоядерного усиления мощности в конструкции атомных зарядов, предложенный Е. И. Забабахиним, Я. Б. Зельдовичем, Ю. Б. Харитонов и К. И. Щелкиным [2].

Дальнейшее улучшение масштабных характеристик ТЯ зарядов не давалось легко. Отметим два других типа первичных зарядов: заряды системы СП, предложенные В. П. Феодоритовым, и заряды системы ВК, предложенные А. Г. Ивановым и нашедшие впоследствии широкое применение [6].

Эти схемы были более трудоемки и требовали тщательного выполнения расчетных, конструкторских и газодинамических исследований, развития новых методов регистрации быстропротекающих процессов. Ряд ТЯ зарядов этих конструкций был отработан, внедрен в производство и поступил на вооружение. Основные исполнители этих работ в отделе – В. С. Кустов, Ю. В. Лисицын, Б. С. Калашников, С. А. Новиков, Б. М. Ловягин, В. А. Огородников, Л. И. Кочкин, В. Н. Коннов, А. И. Чеканов, Ю. С. Пономарев, Ю. Д. Лавровский, Б. Ф. Рождественский.



Совещание у научного руководителя. Слева направо: Ю. Б. Харитон, Ю. А. Трутнев, Е. А. Негин, Л. М. Тимонин, А. Г. Иванов

Работы по атомным и термоядерным зарядам проводились главным образом в лаборатории 1 отдела. Ей руководили в разные годы А. Д. Захаренков, Н. А. Казаченко, А. Г. Иванов, Б. С. Калашников, Л. И. Кочкин, В. А. Огородников.

Об интенсивности работы отдела в первые годы организации сектора 3 говорит то, что за первые пятнадцать лет были проведены исследования 49 атомных и термоядерных зарядов и их модификаций. Часть из них была принята на вооружение. За это время 7 сотрудников отдела защитили диссертации (А. Д. Захаренков, Н. А. Казаченко, В. К. Орлов, А. Г. Иванов, А. Г. Олейник, С. А. Новиков, В. Н. Минеев).

Следует отметить, что основные результаты газодинамических исследований, полученные в период отработки атомных и термоядерных зарядов содержатся в закрытых отчетах. Некоторая часть информации, имеющей общефизическое значение, в последние годы была опубликована в открытых статьях, частично вошла в монографию: “Разрушение разномасштабных объектов при взрыве”, написанную под редакцией А. Г. Иванова (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001).

Так, на рис. 3 (А. Г. Иванов, Л. И. Кочкин и др. // ФГВ, 1990, № 5, с. 127) приведен предварительный снимок (а) и 4 взрывных рентгенограммы (б–д) на разные моменты времени, иллюстрирующие процесс разрушения пластины 1 с присоединенной массой 3, отрезка кабеля 4 и крепежного винта 2, расположенных на пластине 1. Последняя лежит на слое ВВ 5, который инициируется с левой стороны. Пластина имитирует корпус изделия, присоединенная масса – конструктивный элемент на корпусе, а скользящая детонация – работу инициирующего слоя. Интересен процесс разрушения конструктивного элемента с образованием кумулятивных струй из углов, “проваливанием” крепежного винта, “растеканием” измерительного кабеля. Интересен и процесс образования отрыва материала в верхнем правом углу элемента, как следствие взаимодействия двух волн разрежения.

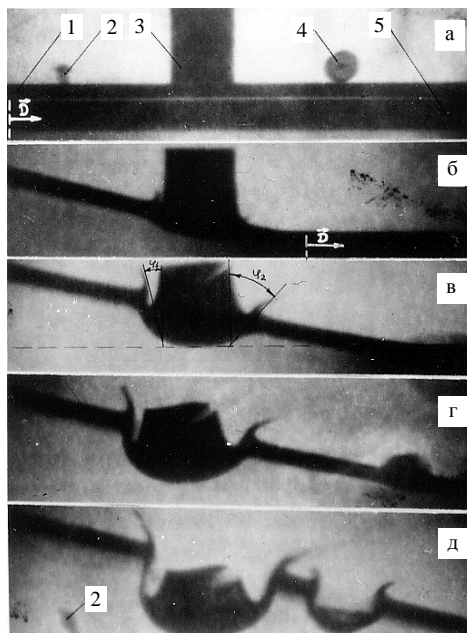


Рис. 3. Процесс разрушения пластины

Исследованию особенностей осесимметричного схождения откольных явлений в стальных оболочках посвящена работа А. Г. Иванова, В. Н. Софронова, Е. С. Тюнькина (ПМТФ, 1984, № 3, с. 125).

Взрывному нагружению скользящей детонационной волной подвергались цилиндрические оболочки из Ст. 3 наружным диаметром 47,6 мм, толщиной стенки 8,8 мм и длиной 150 мм. Нагружение осуществлялось скользящей детонационной волной с наружных поверхностей оболочек. Толщина слоя

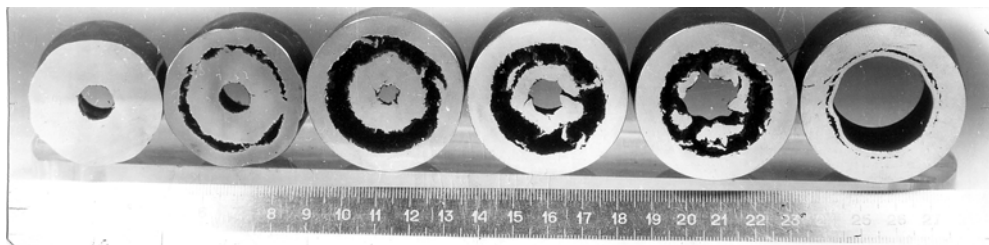


Рис. 4. Сечение цилиндров после их взрывного нагружения

пластичного ВВ изменялась (слева направо) в такой последовательности: 10; 7,5; 5; 3; 2 и 1 мм. На рис. 4 приведены сечения цилиндров после их взрывного нагружения.

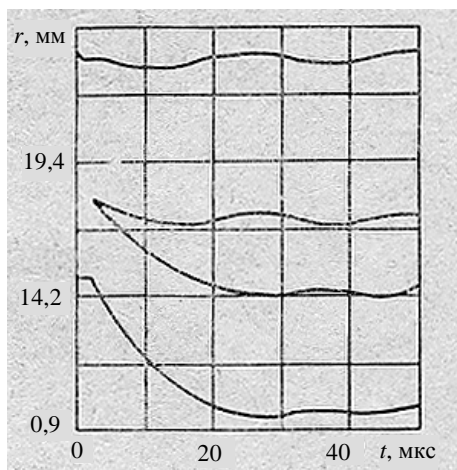
Движение и деформирование оболочек рассчитывалось с учетом сжимаемости, упругости, пластичности и разрушения материала. Критерием откола было выбрано равенство запаса упругой энергии в зоне растяжения энергии λ , идущей на образование новой поверхности ($\lambda = 0,09$ Дж/мм²), а упругая энергия принималась в виде 2 слагаемых – упругой энергии изменения объема и формы. В опыте, где слой ВВ составлял 10 мм, оболочка деформировалась без откола, а движение границ протекало с замедлением, и на 35 мкс произошла остановка внутренней границы на $r = 4,9$ мм, и вся кинетическая энергия перешла в тепловую. Эксперимент подтвердил расчет.

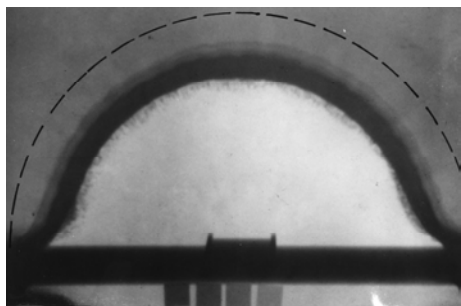
Расчет оболочки при слое ВВ, равном 5 мм (третий слева цилиндр на рис. 4), нанесен на схеме рис. 5. Как следует из $(r - t)$ -диаграммы расчета, откол толщиной ~ 3 мм возник на радиусе 18 мм и сходится к центру, утолщаясь до $\sim 4,7$ мм. Оставшаяся стенка оболочки практически не смещается.

Предложенная расчетная модель позволила качественно, а по некоторым параметрам и количественно, описать опыты при толщине 10 мм (откол отсутствовал) и толщине 5 мм (рис. 4.)

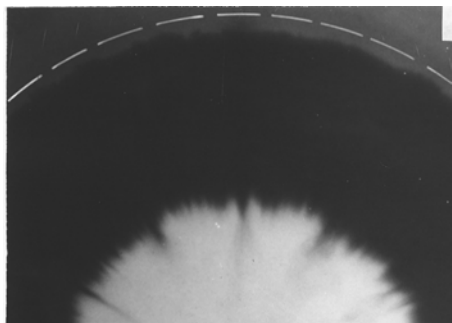
Еще одним примером взрывных исследований является круг работ, связанных с неустойчивостью свободной поверхности вещества, находящегося в твердом или жидком состоянии, при выходе на нее ударной волны с амплитудой давления на фронте несколько десятков ГПа. Так, например, в металлах такая неустойчивость приводит к микрокумуляции или выбросу частиц, связанных с шероховатостью свободной поверхности, обусловленной неидеальностью ее механической обработки (рис. 6, а), наличием дефектов (рис. 6, б) или конструктивных элементов (рис. 6, в) вблизи свободной поверхности.

Изучению этих явлений уделялось повышенное внимание, так как они представляют большой интерес в различных областях физики высоких плот-

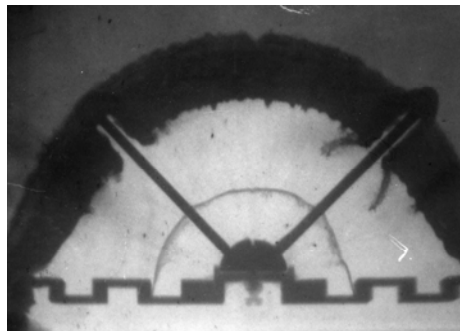
Рис. 5. $(r - t)$ -диаграмма



а



б



в

Рис. 6. Рентгеновские снимки цилиндрических сходящихся оболочек

ностей энергии, например, в задачах высокоскоростного метания, инерциального термоядерного синтеза и т. п., поскольку влияют на перенос энергии и ее потери, затрудняя тем самым осуществимость некоторых проектов. Кроме того, эти явления важны при исследовании процессов диспергирования конструкционных материалов под действием ударно-волновой нагрузки, например, с точки зрения образования и распыления мелкой фракции осколков ядерно-активных материалов при гипотетической аварии на АЭС.

1.3. Прочность материалов при ударном нагружении

Исследования проводились по следующим направлениям:

1. Емкостной датчик. Упругопластическое поведение материалов. Откольные явления.

2. Открытие ударных волн разрежения.

3. Хрупкие разрушения геометрически подобных (ГП) сосудов. Масштабные эффекты энергетической природы (МЭЭП).

4. Возможность построения единой теории разрушения. Интегральный подход к этой проблеме. Порог хрупкости материалов:

- природа катастрофических разрушений трубопроводов;

- фрагментация и рассеяние осколков малых космических тел (МКТ) в атмосферах планет и др.;

5. Открытие главных путей ухода от МЭЭП – разработка взрывных камер из волокнистых материалов:

- создание Колбы-НЦР (“ТИГ–Колба”);

- транспортабельная камера для эвакуации поврежденных головных частей;

- разработка сферических камер. Возможность повышения безопасности термоядерного оружия;

- концепция создания взрывостойких камер для энергетики взрывного термоядерного синтеза;

– схема крупногабаритной камеры для разборки взрывоопасных конструкций.

6. Безопасность быстрых реакторов типа БН-600.

Пополнение отдела молодыми специалистами, окончившими ведущие вузы СССР позволило, наряду с решением первостепенных оборонных задач, начать исследования и по смежным вопросам. К ним следует отнести, помимо устойчивости сходящихся оболочек, исследование вязкости ударно-сжатых материалов, и исследования упругопластического поведения материалов, откольных явлений, масштабных эффектов при разрушении. Отдельным направлением исследований стали вопросы безопасности реакторов на быстрых нейтронах.

Дальнейшее развитие названных направлений позволило по-новому взглянуть на проблему разрушения и хрупкости материалов, открыть замечательное свойство волокнистых композитов – отсутствие масштабных эффектов энергетической природы, создать на их основе “ТИГ–Колбу”, предложить ряд взрывозащитных сосудов, поставить вопрос о возможности повышения безопасности ядерного оружия и предложить концепцию создания камер для энергетики взрывного термоядерного синтеза.

Приведем краткие результаты исследований по перечисленным выше направлениям.

1. Емкостной датчик. Ударные волны разрежения.

Разработанный в отделе емкостной метод регистрации мгновенных скоростей позволил впервые зарегистрировать скачок скорости упругой волны, начать исследования упругопластического поведения материалов, исследования откольных явлений, фазовых переходов в металлах.

2. В начале этих исследований со стальными образцами были обнаружены необычайные осколки с гладкими поверхностями, которые привели к открытию ударных волн разрежения. Основными исполнителями этих работ были А. Г. Иванов, С. А. Новиков, а также Л. В. Васильев, В. А. Сеницын, Ю. И. Тарасов, И. И. Дивнов. С учетом этого явления на меди и стали Ю. И. Тарасовым было установлено, что сокращение интервала времени действия растягивающих усилий приводит к увеличению напряжения откола. Позже систематические исследования этого явления на ряде материалов, выполненные на геометрически подобных (ГП) сборках подтвердили этот эффект. В. А. Огородников и В. И. Лучинин показали, что эта зависимость может быть интерполирована вплоть до атомных размеров и интервалов времени, ($\tau \approx 10^{-13}$ с), где прочность достигнет своего максимального значения, а удельная работа отрыва – минимального значения $\sim \text{Дж/м}^2$.

3. Экспериментальные исследования взрывного разрушения ГП сферических камер, выполненные В. А. Сеницыным и В. А. Рыжанским, позволили подтвердить существование сильных масштабных эффектов энергетической природы при взрывных разрушениях ГП объектов.

4. Исследования (п. 3) позволили А. Г. Иванову предложить “Интегральный подход”, позволяющий в некоторых случаях резко упростить ис-

пользование современной механики разрушения. На его основе была предложена схема построения единой теории разрушения.

Используя этот подход, А. Г. Иванов установил природу многокилометровых катастрофических разрушений трубопроводов, а Н. А. Махутов, С. В. Сериков и А. Г. Котоусов описали масштаб их разрушения при гидроударе.

Как это ни парадоксально, но до настоящего времени для описания разрушения малых космических тел (МКТ) в процессе их внедрения в атмосферы планет используются критерии разрушения сопротивления материалов, отвергнутые современной механикой разрушения (СМР). И дело здесь не в ностальгии по этим критериям, а в отсутствии информации о дефектности МКТ, владение которой необходимо для СМР. Использование интегрального подхода позволило А. Г. Иванову и В. А. Рыжанскому впервые привлечь СМР и обосновать модель фрагментации для описания Тунгусского явления, внедрения Сихоте-Алинского метеорита, а также рассмотреть альтернативный механизм процесса образования гигантской цепочки космических тел из 20–25 фрагментов, растянувшейся на миллионы километров и подвергнувшейся бомбардировке в 1994 году Юпитер. В настоящее время готовится к выпуску книга: “Модель распада и рассеяния малого космического тела в атмосфере планеты”.

5. Работы, проведенные в отделе (п. 3), где впервые были установлены МЭЭП, и опубликование этих результатов в печати насторожили ряд исследователей, которые основным объемом экспериментов выполняли на моделях. Возникал вопрос о корректности переноса этих результатов на натуру. Так, по просьбе сотрудников отдела В. А. Цукермана, в 1976 году В. Н. Минеевым, В. А. Рыжанским, А. Т. Шитовым были проведены опыты по исследованию ГП цилиндрических сосудов из стеклопластика, заполненных водой, на их взрывную прочность. Результаты удивили нас. МЭЭП отсутствовал! Поняли в чем дело: несущим элементом сосудов разного размера являлась стеклянная нить одного и того же диаметра! Был найден способ ухода от МЭЭП! Результаты этой пионерской работы были опубликованы (В. А. Рыжанский, В. Н. Минеев, А. Г. Иванов, А. Т. Шитов, А. П. Зыков // Механика полимеров, 1978, № 2, с. 283). Была сделана попытка оформить эти результаты в форме открытия. Но до комитета по открытиям авторам их донести не удалось.

Вскоре после открытия способа ухода от МЭЭП для работ по проблеме невзрывных цепных реакций (НЦР) возникла настоятельная необходимость создания транспортабельной камеры, выдерживающей без разрушения взрывные нагрузки, эквивалентные взрыву 150–200 кг ТНТ. При отработке такой камеры (“ТИГ–Колба”) для подтверждения отсутствия МЭЭП были проведены исследования с моделями разного размера. Результаты этих исследований были опубликованы позже (Физика горения и взрыва, 2002, т. 38, № 3, с. 127). Доклад о результатах создания взрывостойкой камеры “ТИГ–Колба” на 150–200 кг ТНТ был представлен на Российско-Американском симпозиуме по аварийно-стойким контейнерам и безопасности транспортировки ядерных зарядов. Симпозиум проходил в США, в г. Альбукерке (26.10 – 02.11.1993 г.). Доклад по “ТИГ–Колбе” вызвал большой интерес слушателей и впоследствии привел к ряду контрактов с Сандийской национальной лабораторией США.

Работы по “ТИГ–Колбе” проводились в лаборатории, руководимой в то время В. И. Цыпкиным. Основными исполнителями работ являлись А. Г. Федоренко, М. А. Сырунин, В. Н. Русак, Н. П. Хохлов, О. А. Клещевников, Г. И. Безруков, В. А. Рыжанский и др. Камеры “ТИГ–Колба” были многократно использованы в полигонных опытах НЦР*, а работа была отмечена Государственной премией за 1985 год.

Открытие свойства волокнистых композитов разрушаться без проявления МЭЭП поставило на повестку дня создание контейнеров для эвакуации поврежденных головных частей (ГЧ) с атомными и термоядерными зарядами. Используя накопленный опыт при разработке камеры “ТИГ–Колба”, началась разработка ее по программе, согласованной с рядом заинтересованных предприятий МСМ. К сожалению, дефолт в России привел к резкому сокращению финансирования работ. Ради экономии средств руководство ВНИИЭФ решило возвратиться к традиционным материалам, где проявление МЭЭП исключить нельзя.

В рамках проекта МНТЦ была проведена разработка сферической камеры для транспортировки в ней взрывоопасных объектов, при взрыве которых образуются высокоскоростные осколки. Равнопрочность сферической конструкции контейнера из стеклопластика при одно- и двухосном напряженно-деформированных состояниях позволяют почти в 4 раза уменьшить его массу по сравнению с цилиндрическим контейнером. Разработанный контейнер удовлетворяет требованиям МАГАТЭ и может быть использован для повышения безопасности атомного и ТЯ оружия.

В 1996 году сотрудники ядерного центра из г. Снежинска опубликовали книгу “Взрывная дейтериевая энергетика”, где предлагается реализовать идею А. Д. Сахарова решения проблемы энергетики Земли. Суть ее состоит в использовании энергии термоядерных взрывов в стационарных взрывных камерах с передачей энергии через теплоноситель на тепловые электростанции. В качестве основного горючего предлагается использовать дейтерий, запасы которого в океанах Земли велики. В книге показано, что эффективность проекта окажется достаточной, если энерговыделение каждого взрыва будет эквивалентно не менее 10–25 тыс. т ТНТ. (Для перевозки такого количества ТНТ требуется 200–500 железнодорожных вагонов). Ознакомившись с этим предложением, мы пришли к выводу, что основная сложность состоит в обосновании проекта взрывных камер. Такие камеры должны строиться по типу сосудов из волокнистых композитов, где в качестве волокон следует использовать нити из высокопрочной стали диаметром ниже порога хрупкости. Такая конструкция позволит уйти от МЭЭП и существенно сократит вес камеры. Наши результаты изложены в статье А. Г. Иванова, М. А. Сырунина, А. Г. Федоренко, В. А. Рыжанского “О концепции создания камер для энергетики взрывного термоядерного синтеза” (Физика горения и взрыва, 2000, т. 36, № 6, с. 171).

6. Отдельным направлением экспериментальных исследований явилось изучение взрывостойкости и несущей способности корпуса атомного реактора

* По этой причине “ТИГ–Колба” в ряде случаев именуется и как “Колба–НЦР”.

типа БН-600. Первым этапом этих исследований явилась серия взрывных опытов с ГП цилиндрами из стали 10X18H10T. Характерный размер сосудов изменялся в 32 раза! Опыты показали, что порог хрупкости этой стали существенно выше характерных толщин стенок сосудов и МЭЭП при гипотетических авариях не приведет к катастрофическим хрупким разрушениям.

Основные результаты исследований по данному разделу, выполненные сотрудниками отдела 09 (26) за прошедшие 50 лет, представлены в монографии “Разрушение разномасштабных объектов при взрыве”, опубликование которой стало возможным благодаря проекту МНТЦ. Монография вышла во ВНИИЭФ (г. Саров) в 2001 году. Соавторами монографии были А. Г. Иванов, М. А. Сырунин, А. Г. Федоренко, В. А. Рыжанский, В. А. Огородников, Б. Л. Глушак, Н. П. Хохлов, В. Н. Русак, А. П. Цой [7].

1.4. Методики регистрации и измерительные комплексы

Результаты исследований, изложенные в разделах 1.1–1.6, могли быть достигнуты только при одновременном развитии методов исследования, регистрации и создания соответствующей аппаратуры. Но далеко не всегда этот процесс протекал гладко. В качестве примера остановимся на одной из проблем.

Известно, что в первые годы создания атомного и термоядерного оружия использовались искровые ЭД, снаряженные иницирующими ВВ. Эти ЭД были весьма чувствительны даже к разрядам статического электричества, что периодически приводило к трагическим последствиям.

После создания мостиковых ЭД с использованием вторичных ВВ эта проблема была решена, но тут же возникла новая. Для работы на экспериментальных площадках при газодинамической отработке атомных и ТЯ зарядов потребовалось создание мощных подрывных установок на напряжение ~100 кВ. Разработка и внедрение в практику таких установок привело к резкому росту паразитных электрических наводок на основные измерительные сигналы. Положение осложнялось еще и тем, что новые разработки атомного и ТЯ оружия требовали все большего количества измерительных каналов. Значительный вклад в решение этой проблемы был внесен А. А. Болотовым и Б. М. Ловягиным с сотрудниками. Ими была создана многоканальная аппаратура с использованием ячеек Керра и электрооптического метода измерений временных интервалов с высоким временным разрешением, что было вполне достаточно для решения поставленных задач.

Методики регистрации. Методики регистрации отрабатывали как на внутренних, так и на внешних полигонах, одновременно с отработкой различных типов атомного и ТЯ оружия. Основными из них были:

- фотохронографическая методика, основанная на использовании различных высокоскоростных фоторегистрирующих установок;
- осциллографическая и электрооптическая методики измерения временных интервалов;
- рентгенографическая методика с использованием импульсной рентгеновской установки мощностью от 0,6 до 2,4 МэВ;

– методика непрерывной регистрации сходящейся оболочки с использованием миниатюрных резистивных датчиков.

Лабораторные установки. В отделе 0309 создано или перепрофилировано для экспериментальных исследований три лабораторных установки. Необходимость в их создании была вызвана расширением фронта работ, главным образом, по исследованию динамической прочности различных материалов и других задач, связанных с ее влиянием на работоспособность зарядов. На этих установках проведены широкие исследования откольного разрушения ряда материалов, в том числе с использованием геометрически подобных разномасштабных моделей, особенно в последние годы, а также изучена возможность инициирования вторичных ВВ импульсом лазерного излучения.

1.5. ЭДС при ударном нагружении веществ

Начало исследований электрических сигналов, возникающих при ударном нагружении материалов, явилось следствием неожиданного результата опыта Е. З. Новицкого и В. А. Янова по измерению температуры ударного сжатия оргстекла термопарой. В одном из опытов, забыв включить источник питания измерительной цепи, они зарегистрировали, к своему удивлению, электрические сигналы.

Следует отметить, что ранее в отделе был разработан и внедрен емкостной метод измерения мгновенных скоростей одной из обкладок плоского конденсатора, позволяющий исследовать прочностные характеристики ударно-сжатых материалов. В аналогичных опытах без источника питания измерительной цепи емкостного датчика с пространством между обкладками, заполненным оргстеклом, как и ожидалось, регистрировали ЭДС, начиная с момента входа ударной волны в материал. С неожиданными для нас результатами ознакомили Ю. Б. Харитона. Он заинтересовался результатами опытов и подарил нам материалы коллоквиума, прошедшего во Франции (28.08.61–02.09.61). В них мы нашли работу Ейгельбергера и Хаувера, которые регистрировали аналогичные электрические сигналы при ударном сжатии полярных диэлектриков и предлагали использовать этот эффект для разработки датчиков давления.

Реакция некоторых диэлектриков, полупроводников, металлов. Первой нашей работой этого направления была теоретическая работа А. Г. Иванова, Е. З. Новицкого “Задача о двойном слое в ударно-сжатых диэлектриках” (ПМТФ, № 5, 1966). А первой экспериментальной стала работа А. Г. Иванова, В. Н. Минеева, Е. З. Новицкого, В. А. Янова, Г. И. Безрукова, результаты которой авторы опубликовали в статье “Об аномальной поляризации хлористого натрия при ударном нагружении” (Письма в редакцию ЖЭТФ, т. 2, вып. 8, 1965). Исследования такого плана были развернуты в лаборатории В. Н. Минеева. Работа оказалась достаточно интересной, в нее включились сотрудники А. Н. Дремина (отделение Института химической физики АН СССР в Черноголовке), а также сотрудники Института гидродинамики Сибирского отделения АН СССР, успешно конкурируя с учеными США. Активное участие в этих исследованиях принимали Е. З. Новицкий и Ю. Н. Тюняев, которые

в 1973–1974 годах защитили кандидатские диссертации по этой тематике. В этих работах как в теоретическом, так и экспериментальном плане активно участвовали Ю. В. Лисицын, Н. П. Хохлов, В. А. Янов, Г. И. Безруков.

Были исследованы ионные монокристаллы различной ориентации, некоторые ВВ до перехода их в детонацию, полупроводники (легированные кремнием и германием) и ряд других материалов. Тогда же была обнаружена диффузия электронов через фронт УВ в висмуте, алюминии, сурьме, европии. С целью прогнозирования землетрясений исследовали ударную поляризацию воды и энстатита. Было показано отсутствие заметного влияния массы ионов на величину поляризации и то, что основное влияние на этот параметр оказывают размеры катионов.

Процесс ударной деполяризации в полярных диэлектриках, как было установлено, имеет два механизма: вследствие теплового движения молекул ориентированные на фронте ударной волны диполи полярных молекул релаксируют в хаотическое состояние; появление электропроводимости за фронтом УВ приводит к экранированию ориентированных диполей свободными носителями зарядов. Этот эффект впервые был описан Я. Б. Зельдовичем.

Результаты этих исследований были опубликованы в обзорной статье В. Н. Минеева, А. Г. Иванова “ЭДС, возникающая при ударном сжатии веществ” (УФН, т. 119, вып. 1, с. 75), вошли в сборник научных трудов РФЯЦ-ВНИИЭФ “Высокие плотности энергии” (Саров, 1997, с. 309–343) и явились основой докторской диссертации В. Н. Минеева, которую он защитил в 1977 году. Перед лабораторией В. Н. Минеева была поставлена задача исследования прочности корпуса быстрого реактора.

Пьезо-, пиро-, сегнетозлектрические преобразователи энергии. С выделением лаборатории С. А. Новикова в самостоятельный отдел, в отделе 26 была создана лаборатория 26/3 во главе с Е. З. Новицким. Главной задачей лаборатории явились исследования сегнетозлектрических преобразователей энергии применительно к основным задачам отдела. Лаборатория 26/3 пополнилась рядом сотрудников (М. В. Коротченко, В. А. Борисенок, В. Д. Садунов, Н. И. Крюков, А. С. Дементьев, В. А. Волгин, В. А. Огородников, Г. Я. Карпенко, А. В. Блинов, Т. В. Трищенко и др.). В лаборатории сохранилось и ядро прибористов: А. А. Болотов, Б. М. Ловягин, А. А. Порфирьев, В. И. Перебатов и др.

ЭДС в сегнетозлектриках являлась следствием потери их сегнетосвойств при ударном сжатии. Эффект же ударной поляризации был мал и сравним с линейными диэлектриками. В 1972 году Ю. Б. Харитоном было утверждено первое ТЗ на научно-исследовательскую работу “Пьезо-, пиро- и сегнетозлектрические преобразователи энергии”.

После назначения Е. З. Новицкого начальником отделения 6 в 1989 году и его ухода из отдела группа прибористов успешно продолжила самостоятельно свою деятельность, а работы по второй части раздела 1.5 продолжались в лаборатории 3 во главе с В. Д. Садуновым. По итогам этого направления были защищены кандидатские диссертации В. Д. Садуновым и В. А. Борисенком, а также докторская диссертация – Е. З. Новицким.

1.6. Соударение головных частей (ГЧ) с преградами. Обычное вооружение

С начала 70-х годов в лаборатории Минеева В. Н. Новицким Е. З. и Новиковым В. В. были начаты работы по датчикам СДУ. В. В. Новиков провел цикл исследований по размагничиванию ферро- и ферромагнетиков в ударных волнах, что и явилось основой его диссертации. Работы были начаты с сотрудниками КБ-2 Ю. Н. Бухаревым и Д. Г. Приемским. Дальнейшее развитие этих работ привело к необходимости создания испытательного комплекса проверки работы датчиков СДУ в условиях, близких к натурным соударениям ГЧ с преградами при скоростях до 3–5 км/с в условиях обращенного пуска, т. е. ударом массивной преграды по неподвижной ГЧ.

В 1974 году по приказу директора предприятия Л. Д. Рябева в отделе была создана лаборатория во главе с Л. В. Васильевым для развертывания работ этого направления. Одновременно были проведены реконструкция каземата 1 на площадке 3 и дополнительное оснащение его аппаратурой.

Поставленную перед лабораторией серьезную задачу решить наскоком и малыми силами, конечно, было нельзя. По этой причине в КБ-2 создавался параллельно свой испытательный комплекс, и с середины 80-х годов произошла тематическая переориентировка задач лаборатории. Для достижения паритета по атомному и ТЯ вооружению с США разработка обычных (неядерных) вооружений оказалась в загоне. Принимая во внимание то, что оснащен наш институт более современной измерительной техникой, чем предприятия Министерства машиностроения (ММ), после перехода тематики по системам датчиков ударных и соударениям ГЧ с преградами в КБ-2 отдел Л. В. Васильева переориентировался на решение задач ММ по обычному вооружению.

ГЛАВА 2

ЖИЗНЬ СОТРУДНИКОВ ОТДЕЛА ЗА ПРОШЕДШЕЕ ВРЕМЯ ВО ВСЕМ ЕЕ МНОГООБРАЗИИ

Взгляд назад спустя 30 лет

Приказ руководства предприятия об организации отдела 25/2 вышел в конце декабря 1949 года. В 1979 году отделу 0309 (25/2, 26) исполнилось 30 лет. К этому времени число сотрудников отдела возросло до 80 человек, выделились 4 лаборатории по направлениям исследований:

– лаборатория 1. Газодинамическая отработка атомных и ТЯ зарядов. Начальник лаборатории – Б. С. Калашников;

– лаборатория 2. Динамическая прочность материалов и сосудов. Начальник лаборатории – В. И. Цыпкин;

– лаборатория 3. Свойства пьезокерамики при сжатии в УВ. Полигонные опыты. Разработка и модернизация измерительной аппаратуры. Начальник лаборатории – Е. З. Новицкий;

– лаборатория 4. Датчики СДУ. Соударение головных частей с преградами. Начальник лаборатории – Л. В. Васильев.

Возглавлял отдел А. Г. Иванов, заместителем начальника отдела по научным вопросам был Ю. Д. Лавровский, по общим вопросам – В. П. Дракин.



Ю. Д. Лавровский, Г. Д. Соколов (главный инженер сектора 3),
А. Г. Иванов, В. П. Дракин



Торжественное заседание, посвященное 30-летию отдела 0309. В первом ряду (слева направо): А. Г. Иванов, В. С. Кустов, Б. С. Калашников, Л. М. Тимонин, Н. А. Казаченко, Л. И. Кочкин, Е. З. Новицкий. Во втором ряду: Ю. П. Львов, Е. С. Антонец, Ю. А. Тимофеев, В. И. Лучинин, Л. В. Васильев

В актовом зале сектора 3 под председательством Л. М. Тимонина 11 января 1980 года было проведено торжественное заседание, где о наиболее значимых результатах работы отдела за прошедший период времени доложил А. Г. Иванов. На заседании, помимо сотрудников отдела и сектора, присутствовали и приглашенные гости: бывший начальник этого отдела Н. А. Казаченко, перешедший на работу в Главк, и сотрудники НИИ-1011, ранее работавшие в нашем отделе: Ю. П. Львов, Е. С. Антонец, Ю. А. Тимофеев.

Из наиболее важных работ, проведенных за 30-летний период, были отмечены следующие:

- газодинамическая отработка серии атомных и ТЯ зарядов с передачей части из них в серийное производство;
- предложенные к разработке заряды “системы ВК”;
- исследования развития типичных возмущений 2–30 гармоник на сходящихся оболочках и вязкости некоторых материалов за ФУВ;
- полигонные исследования асимметрии схождения оболочек плутония; существенная модернизация измерительной аппаратуры;
- установление ведущей роли масштабных эффектов энергетической природы (МЭЭП) при хрупких разрушениях и открытие класса композитных материалов, свободных от МЭЭП;
- завершение цикла исследований электрических эффектов при ударном нагружении различных веществ. Начало разработки преобразователей энергии различных назначений;
- начало разработки датчиков СДУ и исследование соударений головных частей с преградами.

Выход в научный мир СССР

Впервые сотрудники отдела 26 приняли активное участие в первой открытой конференции по физике высоких давлений, состоявшейся 13–18 мая 1963 года в Институте химической физики (ИХФ) АН СССР в Москве. Главными организаторами конференции были КБ-11 и ИХФ. На конференции достаточно широко были представлены работы ведущих ученых АН СССР из Москвы, Ленинграда.

Четыре доклада, посвященных вязкости материалов за фронтом УВ, а также методу регистрации и упругопластическому поведению материалов при ударном сжатии, подготовили сотрудники отдела В. Н. Минеев, В. А. Синицын, С. А. Новиков и А. Г. Иванов.

Списки участников 1-й конференции от КБ-11 первоначально согласовывались с Ю. Б. Харитоном, Л. Д. Рябевым и начальником Главка Н. И. Павловым. Первоначально планировали, что открывать конференцию будет Ю. Б., но затем было поручено Я. Б. Зельдовичу. Он же выступал и с заключительным словом.

В 1967 году А. Г. Иванов и Е. З. Новицкий стали участниками конференции в г. Харькове “Динамика дислокаций”. В 1968 году состоялся первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву в Черноголовке, где с докладом выступил К. И. Щелкин, трижды Герой Социалистического Труда. Организатором и вдохновителем таких симпозиумов выступил профессор А. Н. Дремин. Сотрудники отдела и сектора участвовали и в других близких по тематике конференциях, съездах, школах-семинарах, совещаниях в Москве, Ленинграде, Киеве, Ереване, Одессе, Ростове-на-Дону.

Позднее, после 1980 года, сотрудники отдела посетили Новосибирский Академгородок, Красноярск, Алма-Ату, Петропавловск-Камчатский, Телави в Грузии, Азау в Приэльбрусье, Минск, Ригу, участвовали в Лаврентьевских чтениях (Новосибирск, Казань), Забабахинских (Снежинск) и, естественно, Харитоновских (Саров).

Пользу процесса подготовки докладов и общения с коллегами на таких мероприятиях трудно переоценить. По этой причине было признано целесообразным регулярно проводить подобные закрытые мероприятия между газодинамиками КБ-11 и НИИ-1011 в Сарове и Снежинске раз в два года, что и было реализовано при активном участии Л. М. Тимонина после согласования этого вопроса с руководством института и Главка.

Научные командировки за рубеж

Первая поездка сотрудников сектора 3 за рубеж состоялась в сентябре 1989 года в г. Любляну, Югославия. В X международной конференции, посвященной высокоэнергетическому воздействию на материалы, приняли участие Л. М. Тимонин, А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский и С. А. Новиков. С нами ехала делегация из Черноголовки (во главе с А. Н. Дреминым) и Академгородка Новосибирска, который до этого уже принимал гостей из Югославии. Нас встретили как старых знакомых, организовали экскурсию по Белграду, а вечером отправили поездом на конференцию в Любляну.

Коллеги из института АН СССР, в отличие от нас, неоднократно бывали за рубежом и достаточно свободно владели английским – рабочим языком на конференции. По этой причине свой доклад “Possible Development of the Unified Fracture Theory” я попросил прочитать А. Н. Дремина. В 1990 году он был опубликован в ДАН СССР [9] и ПМТФ [10]. Правда, в отличие от меня, В. А. Рыжанский второй доклад, написанный в соавторстве со мной и Л. М. Тимониным, прочитал сам, пользуясь услугами переводчиков.

Вслед за этой поездкой уже в следующем 1990 году группа сотрудников сектора 3 (Л. М. Тимонин, А. Г. Иванов и С. А. Новиков) посетила университет г. Сан-Диего, США, и участвовала в конференции по ударным волнам и реакции материалов на высокоскоростное нагружение. От отдела 09 был представлен доклад [11]. В октябре 1991 года сотрудники сектора, А. Г. Иванов и С. А. Новиков, участвовали в III Международной конференции “Dymat-91” (во Франции, г. Страсбург), на которой был представлен доклад [12]. В 1997 году представляли ВНИИЭФ на V Международной конференции “Dymat-97”, выступали с докладами [13, 14] в Испании, г. Толедо.

Но особо следует отметить участие в симпозиуме по аварийностойким контейнерам и обеспечению безопасности при транспортировке в Альбукерке, США, 26.10.1993 год. Советскую делегацию от нашего министерства возглавлял Г. А. Цырков. На конференции присутствовали сотрудники Сандийской и Ливерморской национальных лабораторий США.

Полвека спустя

Пятидесятилетие отдела 09 (25/II, 26, 0309) отмечалось в 2000 году, и специального подведения итогов, как на 30-летие, в секторе не проводилось.

За прошедшие годы многое изменилось. Многих сотрудников не стало.

Газодинамический сектор 3 превратился в Институт физики взрыва, сменилось руководство в отделе и ИФВ. Институт возглавил А. Л. Михайлов, а отдел – Б. Ф. Рождественский.

Несколько изменилась и структура отдела. Лаборатории 1 и 2 возглавляют теперь Л. И. Кочкин и Г. С. Телегин, а лабораторию 4 – О. В. Свирский. С переходом Е. З. Новицкого в КБ-2, его лабораторией первоначально руководил В. А. Борисенок, а потом возглавил В. Д. Садунов. Из лаборатории в самостоятельное подразделение выделился приборный сектор во главе с Б. М. Ловягиным.

Обозревая полувековую трудовую деятельность отдела и рискуя кого-либо обидеть, хочу отметить наиболее важные, на мой взгляд, достижения в работе отдела.

По основной тематике отдела смелый шаг сделан Б. С. Калашниковым при газодинамической отработке изделия 20ГНС. Он предложил перейти от регистрации асимметрии традиционным фотохронографическим методом к электроконтактному искровому. Это позволило резко увеличить угол регистрации, одновременно получать динамические характеристики изделия и вдвое сократить количество экспериментальных блоков. Конечно, в полной мере все

это удалось реализовать позже, с учетом работ Е. З. Новицкого, А. А. Болотова, Б. М. Ловягина. [15].

Экспериментальное доказательство ведущей, определяющей роли МЭЭП при хрупких разрушениях ГП объектов, нагруженных одинаковым образом, и их отсутствие при разрушении объектов из стеклопластиков, установленное в опытах В. А. Синицына, В. А. Рыжанского и В. Н. Минеева, позволило предложить альтернативный подход в современной механике хрупкого разрушения [9, 10]. В работе [10], в отличие от традиционного подхода [16], при рассмотрении хрупких разрушений ГП тел, нагруженных одинаковым образом, принималось, что условие достаточности априори выполнено, так как трещина стартует из известной области растяжения тела. А необходимое условие оказывается выполненным, когда запас упругой энергии в объекте достигнет величины, достаточной для хрупкого разрушения. Подход [9, 10] позволил элементарно установить природу катастрофических разрушений трубопроводов и впервые применить современную механику разрушения при корректном описании процесса разрушения астероидов и комет в атмосферах планет [14, 17] и др.

Установленный факт отсутствия МЭЭП при хрупком разрушении ГП тел из стеклопластика и аналогичных материалов позволил разработать серию экономичных высокопрочных контейнеров, поставил вопрос о повышении безопасности ядерного оружия [18] и позволил предложить концепцию создания камер для энергетики термоядерного синтеза [19].



На пятидесятилетии отдела 09. А. А. Болотов, А. Г. Иванов, А. Л. Михайлов

Об общественной жизни, коллективных поездках по историческим местам, праздниках, спорте, субботниках

Известно, что с момента организации “объекта” в Сарове с целью создания ядерного оружия вплоть до достижения паритета с США по атомному и ТЯ оружию, как по качеству так и количеству, ситуация была чрезвычайно напряженной, и, естественно, это отражалось и на нашей жизни [20]. Большая часть из прошедших 50 лет пришлась на время тоталитарного коммунистического режима. Принадлежность к партии открывала широкие ворота для карьеристов. Потеря же партбилета становилась реальной угрозой для карьеры. Конечно, последующий переход к капитализму по Ельцину и Чубайсу привел к разграблению России и появлению олигархов, по-видимому, из того же нац. меньшинства (1,5 %), из которого в 1917–1922 годах они составили 83 % руководящей и организующей силы партии при проведении “пролетарской революции” [21]. Сложность некоторых затронутых вопросов и их удаленность по времени не позволяет мне достаточно объективно на них ответить.

Обращаясь к общественной жизни отдела, нельзя не отметить одного из наиболее самоотверженных работников, Б. С. Калашникова, разработчика атомного и ТЯ оружия, награжденного Государственной премией СССР в 1971 году. Он добросовестно выполнял и работу, порученную ему партией: раз в неделю проводил политбеседы с сотрудниками в отделе. Из сотрудников нашего сектора (отделения) в первую очередь, конечно, следует отметить Л. Д. Рябева, выросшего на наших глазах из рядового сотрудника в крупного государственного деятеля, рекомендованного в партию В. Н. Минеевым.

Некоторое время в отделе работал и В. А. Ивановский, который решил поставленную перед ним задачу, защитил кандидатскую диссертацию и был востребован на партийной работе.

Немного о себе. Включившись в трудовую деятельность, будучи уже руководителем группы и аспирантом у Б. Н. Леденева, когда он возглавлял сектор (отделение), в 1958 году я был вызван к нему в кабинет. Не помню, с чего начинался наш разговор, запомнил только его вопрос: “Почему «Органы» против Вас?” Помолчав, я ответил, что не знаю. Последовал еще вопрос: “А если подумать?” Пришлось рассказать о причине недовольства органов мной. Вскоре я был назначен исполняющим обязанности начальника отдела 26. Суть дела изложена в моих “Воспоминаниях о прошлом”. Лет 40 спустя я поделился об этом эпизоде с моим однокашником по МГУ и коллегой по работе в отделе 26 А. Г. Олейником. А он в своей книге [8] представил меня как героя. Не те были времена для геройства с Органами!

Как начальник отдела, я оказался в блоке “коммунистов и беспартийных”, и должен был посещать открытые партсобрания. А с 1969 по 1985 годы избирался депутатом горсовета, работал в медкомиссии, председателем которой была моя однофамилица, врач Иванова Тамара Васильевна.

В 60-е годы все мы были молоды и, по мере ослабления режимных ограничений начали осваивать окрестные достопримечательности, исторические места. Посетили Большое Болдино, есенинские места, Тарханы.

Выезжали в устье Волги, на реку Ахтубу. Обычно собиралась компания человек 20–25. Не менее интересным был лодочный поход на трех моторных лодках-казанках по реке Мокше (деревня Дудоровка – начало сплава) до Оки (Ватажка). Возвращение назад оказалось более интересным и чрезвычайно трудным. Из трех моторов два “сдохли”, пришлось из трех лодок сделать катмаран. Обмелела и Мокша. Вернулись все загорелые, похудевшие, окрепшие и довольные.



На пути в Тарханы



На отдыхе. 1984 год

Были поездки по Золотому кольцу России (Владимир, Боголюбково, Суздаль, Ростов Великий, Александров), ну и, конечно, окрестным местам.

Радостно встречали и праздники 1 Мая и 7 Ноября.



Майская демонстрация 1977 года



Перед демонстрацией 7 Ноября 1985 года



Л. В. Васильев с сыном, В. П. Дракин, О. А. Клещевников, Е. В. Савинов,
В. И. Перебатов, С. Д. Миронов. 1976 год

Периодически ездили в колхозы и на уборку урожая овощей и расчистку
леса вокруг экспериментальных площадок.



Ю. В. Лисицын, Ю. Б. Шишкин, С. Ю. Пинчук, Л. В. Васильев,
Л. И. Кочкин, А. Н. Пожариский, К. А. Нургалиев, А. И. Афанасьев.
Из кабины появился В. А. Борисенок

Литература к главам 1 и 2

1. Андрюшин И. А., Чернышев А. К., Юдин Ю. А. Укрощение ядра. Саров; Саранск: “Красный Октябрь”, 2003.
2. Соснин Г. А. О конструкторах разработчиках зарядов КБ-11 (ВНИИЭФ). 1946–1988. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001.
3. Феоктистов Л. Оружие, которое себя исчерпало. М.: РК ВМПЯВ, 1999.
4. Chuck H. US Nuclear Weapons. The Secret History. N.Y.: Nuclear Weapons Orion Books. 1988.
5. Атом. Саров, 2002. № 21.
6. Создатели ядерного оружия КБ-11 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) / Под ред. академика Р. И. Ильяева. Том 1. Саров, 2004.
7. High – Pressure Shock Compression of Solids VII. Chapter 15. A.G. Ivanov, Fracture of Structures Caused by Explosive Loading: Scale Effects. Springer, New York, Berlin, London, Paris ect.
8. Олейник А. Г. Три задачи академика Сахарова. Троицк: Тривант, 2004.
9. Иванов А. Г. Схема построения единой теории разрушения // ДАН СССР. 1990. Т. 310, № 4. С. 866–870.
10. Иванов А. Г. О возможности построения единой теории разрушения // ПМТФ. 1990. № 1. С. 109–116.
11. Иванов А. Г., Огородников В. А. Различаются ли хрупкие и пластичные материалы при отколе? // ПМТФ. 1992. № 1. С. 102–106.
12. Ivanov A. G. Dynamic Rupture of Thin – Walled Cylindrical Shells. //France, Jour de Physique IV. 1991. Vol. 1.
13. Syrunin M. A., Fedorenko A. G. and Ivanov A. G. Dynamic strength of Fiber Glass Shells. // J. Phys. IV. 1997. Vol. 3–517.
14. Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Анализ процесса дробления Сихотэ-Алинского метеорита с позиций механики разрушения // Асторион. Вестник. 1998. Т. 32, № 2. С. 164–168.
15. Болотов А. А., Ловягин Б. М., Манулов Н. А., Саккеус И. К. 50-канальный генератор световых импульсов // ПТЭ. 1975. № 3. С. 198–200.
16. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.
17. Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Фрагментация малого космического тела в атмосфере планеты при пролете мимо нее // ФГВ. 1999. Т. 35, № 5. С. 127–137.
18. Иванов А. Г., Федоренко А. Г., Сырунин М. А. О возможности повышения безопасности ядерного оружия // ФГВ. 1995. Т. 31, № 2. С. 169–171.
19. Иванов А. Г., Сырунин М. А., Федоренко А. Г., Рыжанский В. А. О концепции создания камер для энергетики взрывного термоядерного синтеза // ФГВ. 2000. Т. 36, № 6. С. 171–179.
20. Губарев В. Белый архипелаг Сталина. М.: Молодая гвардия, 2004.
21. Митрополит Иоанн. Русь соборная. Очерки христианской государственности. Санкт-Петербург: “Царское дело”, 1995. С. 193–202.
22. Минеев В. Н., Погорелов В. П. и др. Установка для исследования поведения материалов и конструкций при динамических нагрузках // ФГВ. 1978. № 3. С. 129.

ГЛАВА 3

ОЧЕРКИ СОТРУДНИКОВ ОТДЕЛА 09 (26, 0309)

В. А. Беспалов

Три картонки

*Свой ум, здоровье, сердца жар
Вложили мы в работу эту,
Чтоб термоядерный пожар
Не уничтожил всю планету*

Обычный рабочий день подходил к концу, когда из Москвы пришло срочное сообщение. При сборке заряда на полигоне по непонятным причинам не хватило трех картонных прокладок, которые используются для уплотнения сборки фокусирующих элементов. Каждая прокладка представляла собой фигурную деталь размером с ладонь, вырезанную из электрокартона в полмиллиметра толщиной. Пропавшие прокладки при сборке могли попасть в полость между фокусирующим слоем и зарядом ВВ. Главный вопрос был в том, как это может сказаться на работе изделия. Если отрицательное влияние будет значительным, то следует перенести правительственные сроки испытания изделия, произвести небезопасные работы по разборке заряда, поиске прокладок и повторной его сборке. Нет необходимости объяснять, что перенос сроков испытаний был крайне нежелателен, поэтому ответ на вопрос должен быть получен очень срочно. Инженерная интуиция подсказывала, что заметного влияния “пропавшие” прокладки на работу изделия оказать не могут, но интуицию к делу не пришьешь, нужен был прямой опыт. Провести такой опыт поручили нашему отделу. Надо сказать, что на его подготовку в обычном рабочем режиме требовалось около месяца, так как основное время расходовалось на изготовление деталей заряда на первом и втором заводах.

О том, как готовился этот опыт, можно писать целую повесть. Отдельные детали и блоки разыскивались по всему “объекту” и, в первую очередь, на всех трех заводах.

Сейчас, спустя почти полвека, с особым чувством благодарности и гордости за работающих людей вспоминаешь, что несмотря на вечернее, а потом и ночное время, внеплановость и особую срочность работы, все подразделения “объекта” помогли нам чем могли.

Ближе к полуночи группа в составе Захаренкова Александра Дмитриевича, Виктора Кустова, Алексея Олейника, Владимира Беспалова и Александра Чеканова прибыла на третью площадку для подготовки аппаратуры. Во втором часу ночи привезли на площадку собранный натурный макет заряда. При

сборке заряда “злополучные” картонки расположили в различных сочетаниях в тех самых местах, где они могли оказаться при сборке заряда на полигоне.

Заключительная стадия опыта прошла в обычном рабочем режиме, и около половины третьего каземат устало вздрогнул от взрыва. Закончив работу на площадке, вся группа вернулась в рабочий корпус. Здесь дежурили фотолaborанты, они срочно проявили фотопленки, на которых были зарегистрированы результаты опыта. Еще мокрые пленки были обсчитаны, и эти результаты послужили документальным доказательством, что заряд на полигоне может быть допущен к испытаниям. О результатах опыта срочно сообщили в Москву, а наши рабочие сутки на этом закончились. Как потом стало известно, испытываемое изделие показало расчетную мощность, т. е. заряд сработал.

В. А. Беспалов

Рога и кувалда

Взрывные опыты по газодинамической отработке зарядов ядерного оружия проводились на экспериментальной площадке № 3. Работа, как правило, проходила в два этапа. Сначала на сравнительно простых и недорогих так называемых модельных опытах на зарядах с плоской детонационной волной изучалось влияние различных конструктивных особенностей элементов заряда на симметрию движения пластин, разгоняемых продуктами взрыва. При этом главной задачей явилось определение такого конструктивного оформления элементов заряда, при котором его влияние на симметрию движения пластин будет минимальным. Полученные в модельных опытах результаты затем проверялись в натурных опытах на макетах ядерного заряда в натуральную величину. В модельных опытах подрывались заряды ВВ весом до трех килограммов в каждом, в натурных – до 100 и более. Несмотря на то, что площадка расположена примерно в 10 км от города, грохот взрывов был хорошо слышен в городе. Родным и знакомым, не связанным с нашими работами, говорили в шутку, что на площадках мы корчем пеньки в лесу. Иногда эти “пеньки” были настолько большими, что в домах поселка Борового (ныне ул. Гагарина) от ударной волны распахивались форточки.

Рассказывая о работе отдела, нельзя не отметить, хотя и вспомогательную, но не менее ответственную работу сотрудников площадки при подготовке и проведении взрывных опытов. Коллектив площадки состоял примерно из 10 человек. Кроме начальника площадки и диспетчера, здесь работали плотники, электрик, кладовщики и разнорабочие. В их обязанности входило поддержание сооружений и рабочего поля, где проводились опыты, в надлежащем состоянии, изготовление и доставка к казематам необходимых подставок под экспериментальные сборки, хранение необходимых запасов зарядов ВВ, координация работы казематов при проведении взрывов. Они честно выполняли свои служебные обязанности.

Очередным начальником площадки был назначен отставной военный, мужчина лет 45–50, который решил установить в работе “военные” порядки и дисциплину. Сугубо штатскому коллективу рабочих мелочные придирки, тон и манеры поведения начальника очень не нравились, и его, прямо скажем, недолюбливали. Как-то раз плотник Люлин попросил его разрешения отлучиться на час-полтора после обеда, объясняя, что накануне обнаружил недалеко от площадки павшего лося с роскошными рогами и хотел бы их добыть. Следует заметить, в то время поголовье лосей в окрестностях города было достаточно многочисленным. Старожилы помнят, как лоси свободно гуляли по городу и даже ночевали во дворах. Охотничье общество изредка получало лицензию на отстрел нескольких животных. Бывали случаи и браконьерства. Как бы то ни было, а иметь в квартире вешалку из рогов лося считалось не только модным, но и престижным. Поэтому начальник стал уговаривать Люлина уступить ему его находку. Тот долго сопротивлялся, но в конце концов уступил и рассказал, как найти лося.

Начальник взял топор и уже собирался уходить, когда Люлин сказал, что топором он и сам пробовал отделить рога, но не удалось, нужна кувалда. И вот, взвалив на плечо почти пудовую кувалду, начальник отправился на поиски. Надо сказать, что места, куда отправился искатель, были трудно проходимыми, болотистыми.

Как нам потом рассказали, только через два с половиной часа, уставший и весь перепачканный болотной жижей, вернулся начальник, злой, как черт, с кувалдой на плече. Конечно, никаких рогов с ним не было, так как все это придумал плотник – мастер на розыгрыши – не было никакого лося. “Где этот Люлин, сейчас я ему этой кувалдой башку отшибу”, – первое, что сказал охотник за рогами.

Е. В. Савинов

Как это было

(воспоминания ветерана)

За короткий срок в нашей стране была создана новая отрасль промышленности (среднее машиностроение). РФЯЦ-ВНИИЭФ был организован в далеком 1946 году на базе завода № 550 Наркомата боеприпасов. За долгие годы РФЯЦ-ВНИИЭФ (и одновременно город) поменял много названий: База 112, Объект 550, Приволжская контора, КБ-11, п/я 4665, Арзамас-75, Кремлев, Арзамас-16 и, наконец, Саров (историческое название). Многие из нас еще школьниками были свидетелями рождения “объекта”. А уже через несколько лет и сами влились в отряд первопроходцев новой отрасли.

До мая 1952 года КБ-11 состояло из двух научных подразделений: научно-исследовательского сектора (НИС, с 1949 года – сектор 20) и научно-конструкторского сектора (НКС). В мае 1952 года на базе НИСа и НКСа был создан ряд тематических секторов, в том числе и газодинамический сектор 3

(начальник В. К. Боболев), который был организован на базе девяти отделов НИСа. В двух из них велась газодинамическая отработка изделий на натуральных блоках: в отделе 25/1 – с помощью контактно-осциллографической методики (позднее появился метод ТИ), а в отделе 25/2 – с использованием оптической (фотохронографической) методики. Отделы были созданы в 1949 году (приказ от 24.12.49 г.) на основе лаборатории 5 (отдел 25) НИСа. В составе сектора 3 отдел 25/1 получил номер 25 (начальник Е. А. Негин), а отдел 25/2 – номер 26 (начальник А. Д. Захаренков). На должности начальника отдела 26 А. Д. Захаренкова (впоследствии заместитель министра среднего машиностроения) сменяли Н. А. Казаченко (1955–1958 годы), А. Г. Иванов (1958–1997 годы), Б. Ф. Рождественский (с 1997 года).

Первые годы существования нашего 26-го отдела (и других отделов также) были особенно героическими. Работали самоотверженно, с энтузиазмом, не считаясь со временем, гордились своей причастностью к большому и важному государственному делу.

Газодинамическая отработка изделий в отделе 26 (теперь 09) исторически связана с использованием фотохронографической методики. Однако в то время не было фотохронографов с требуемыми скоростями развертки изображений. К началу экспериментов, в 1946 году, исследователи располагали только примитивными фотохронографами со скоростью развертки ~50 м/с. Но уже в 1948 году усилиями сотрудников сектора 3 В. К. Боболева, А. Д. Захаренкова, М. Я. Васильева, Н. А. Казаченко, Г. Д. Соколова и других был создан опытный образец фотохронографа, который и стал прототипом разработанного Г. Л. Шнирманом в ИХФ АН СССР по техническому заданию группы Боболева В. К. сверхскоростного фоторегистратора (СФР), который используют и до сих пор исследователи в своих экспериментах. Примерно в то же время группой И. Ш. Моделя также был разработан двухобъективный фотохронограф ФД-2. В том же 1948 году Н. А. Казаченко и В. В. Степановым была создана первая высокоскоростная киносъемочная камера (“Лупа времени”), которой были сделаны первые снимки взрыва гидродинамического макета РДС-1. Однако у первых приборов был существенный недостаток: отсутствовал узел затвора. В связи с этим вспоминается и специфика работы в те годы. Из-за отсутствия затвора приходилось фотохронографические опыты проводить в темное время суток и к тому же пользоваться шапкой, закрывая после взрыва входной зрачок объектива, чтобы исключить влияние дополнительной засветки.

С этой целью рабочая группа экспериментаторов выезжала на полигон с утра и работала до позднего вечера. В светлое время дня готовили сборку, а в оставшийся промежуток времени до наступления темноты, как правило, организовывали футбольные матчи. Все участники разбивались на две команды. Ворота одной из них защищал дядя Саша, так уважительно звали начальника отдела Александра Дмитриевича Захаренкова. Он играл в сборной НИСа в КБ-11. Вторые ворота иногда защищал Георгий Александрович Цырков (впоследствии начальник 5ГУ).

Работа в зимних условиях имела еще одну “специфику”. Фотохронографическая методика предусматривала регистрацию процесса с применением в

составе сборки оптически прозрачных приемников (“фонарей”). Для этой цели, как правило, использовали полые фонари из оргстекла, которые заполняли водой. А чтобы вода не замерзала на морозе, ее разбавляли спиртом, который специально поставляли для этих целей. Естественно, после проведения опыта голодные и замерзшие участники опыта “причащались” остатками спирта и, загрузившись в крытый брезентом газик, весело отправлялись по домам.

Хочется немного рассказать и о технике безопасности того времени. Конечно, со стороны научного руководства вопросам ТБ уделялось первостепенное внимание. Тем не менее при взрывных работах нельзя было все предусмотреть инструкциями, хотя их тоже совершенствовали. Нередко возникали “щекотливые” моменты.

Более 40 лет назад для подрыва полусферических литевых зарядов из ТГ (тротил–гексоген) использовали приставные элементы (“рога”) из того же материала, имеющие баратоловые линзы для выравнивания детонационного фронта. Приставные элементы приклеивали вплотную друг к другу на наружную поверхность полусферического заряда с помощью канифольно-церизиновой мастики (готовили здесь же, на площадке). Для надежного инициирования приставных элементов в гнезда последних устанавливали дополнительные шашки (детонаторы) из флегматизированного гексогена. Заряд клеили в снаряжательном домике, и на специальных носилках выносили на поле. В тот злополучный день было очень холодно. И вот заряд склеен. Выносим его на поле. Следующая операция – установка заряда на подставку высотой ~1,5 м. Начинаем поднимать носилки вверх, чтобы установить их на подставку, а затем сдвинуть заряд ВВ с носилок на гладкую поверхность подставки. Напарник был выше меня ростом, и небольшого перекаса носилок оказалось достаточно, чтобы тяжелый “рогатый” заряд сполз с них и рухнул на мерзлую землю. Часть “приставных” рогов отвалилась, промежуточные шашки-детонаторы раскрошились на мелкие кусочки. Хорошо, что в них не были установлены ЭД. Свидетелей произошедшего не было. Мы сделали выводы и поклялись “не рассказывать” общественности. А вот в отделе 21 подобный случай закончился трагически. На одной из экспериментальных площадок 14 декабря 1957 года при работе с очень чувствительным составом (продукт 510) погиб лаборант сектора 3 Горин В. В. И хотя причиной трагедии послужило нарушение техники безопасности, тем не менее состав был снят с экспериментального производства.

История разработки взрывчатых веществ для ядерных зарядов была непростой. Первые литевые составы ТГ, широко применявшиеся для снаряжения боеприпасов общевойскового назначения, конечно, не удовлетворяли требованиям экспериментаторов. Нужны были составы с компонентами, обеспечивающими необходимые параметры по мощности и другим характеристикам. Однако эти составы должны были обладать не только необходимой мощностью, но и приемлемой чувствительностью к внешним воздействиям. А вот здесь часто и возникали несоответствия. Состав 510 оказался слишком чувствительным к механическим воздействиям.

Можно вспомнить историю внедрения другого состава. Чувствительность его была достаточно высока. Для работы с деталями из него была вы-

пущена специальная инструкция, которая требовала сверхосторожного обращения с этим ВВ. Для предотвращения взрыва при случайном падении деталей при монтаже вокруг экспериментальной подставки необходимо было насыпать слой опилок.

Но особенно опасными считались работы с азидными капсюлями-детонаторами (особенно искровыми), которые использовали вплоть до начала 60-х годов. Для того чтобы взорвать такой ЭД, нужна энергия в несколько эргов. Пример для сравнения: если мигнуть глазом, то затраченная при этом энергия составляет несколько сот эргов. Эксперименты с такими ЭД требовали особого внимания и осторожности. При работе с искровым ЭД 19–440 сБ у многих взрывников тряслись руки, настолько было сильно психологическое воздействие опасности работы с этим ЭД. Удивительно, что в нашем отделе не было несчастных случаев при работе с этим ЭД. Разумеется, мы, молодые взрывники, тщательно соблюдали инструкции по технике безопасности (кстати, раздел инструкции о работе с искровыми ЭД первоначально был лично написан Ю. Б. Харитоном) и выполняли все организационно-технические мероприятия. В основном, они сводились к защите от статического электричества. У всех взрывников и помощников обшлага спецовки были обшиты металлической оплеткой от высоковольтного кабеля, которая имела возможность подсоединяться к электрическому заземлителю (специальный металлический стержень, забитый в землю вблизи установки заряда). Выходя на поле, взрывник, прежде чем поставить ЭД на заряд, должен был смазать глицерином все поверхности экспериментальной сборки, на которых могло накопиться статическое электричество, а затем надежно заземлиться с помощью металлического стержня-заземлителя. А чтобы заземление было надежным, необходимо, чтобы в том месте, где вбит стержень была влажная земля, лучше подсолённая. Находчивые взрывники легко справлялись с этой задачей. Так удавалось побеждать статическое электричество. И все-таки там, где не было возможности избавиться от статического электричества, либо не приняли соответствующих мер (речь идет о других подразделениях), такие случаи происходили.

На площадке 7 в феврале 1960 года произошел несчастный случай. Погибли 3 сотрудника завода “Авангард”, и среди них жена нашего уважаемого коллеги, Роза Калашникова. Вероятная причина – статическое электричество. Многие экспериментаторы работали над проблемой создания ЭД без азидной “начинки”. И только в 1958 году проблема азидных ЭД была решена. Однако до промышленной реализации этих ЭД прошло еще несколько лет.

Итак, появился безопасный электродетонатор (Д-22), в котором опасное первичное ВВ (азид свинца) было заменено на вторичное ВВ – мелкодисперсный ТЭН. Этот ЭД был разработан в отделе 22 под руководством Чернышева В. К. в группе Лобанова В. Н.

Решена задача глобального значения. В 1960 году создание этого ЭД было признано изобретением, а в 1962 году эти изделия успешно прошли полигонные испытания, и с этого момента приказом в нашем институте было запрещено применение азидных ЭД (за редким исключением и по особому разрешению Главка).

И. Е. Максимов

Моим вторым домом был отдел 26

В 1941 году началась война, отца мобилизовали в армию, а меня, 15-летнего, как и многих других ребят мобилизовали на заводы. Нас привезли в поселок рабочего типа Саров, где находился завод № 550 Наркомата боеприпасов. Так как я окончил 7 классов, меня послали учиться на токаря, и через 6 месяцев присвоили 4-й разряд, направили на работу. Завод имел несколько цехов: снарядный, кузнечный, инструментальный, автоматный. Все цеха располагались на территории 1-го завода. Сначала нас послали точить корпуса шестидюймовых снарядов, но вскоре перевели на изготовление корпусов 80-миллиметровых мин для минометов. Так всю войну мы этим и занимались. С середины 1945 года начали делать корпуса снарядов к катюшам. В мае закончилась война, и меня наградили медалью “За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.”, перевели на изготовление деталей для сельскохозяйственных машин. Главным инженером завода был Н. А. Петров, который потом стал главным инженером ВНИИЭФ. Начальником электростанции был Ю. И. Нотов. Мощность первой станции составляла 500 кВт, а потом прислали станцию “Вольф” мощностью 1000 кВт.

В начале 1946 года приехала комиссия для замеров всех зданий 1-го завода. Это оказалось, что начал строиться ВНИИЭФ. В этом же году создали строительную организацию – 990, а меня направили в механический цех. Он располагался там, где теперь находится ДОК. Наш цех изготавливал мощные железобетонные казематы, потом я много лет работал в одном из них. Я работал на разных участках, был заведующим материальным и инструментальными складами. В декабре 1947 года меня направили во ВНИИЭФ, в цех № 1 завода № 1 (директор Бессарабенко, начальник цеха Панасюк). В 1948–1949 годах я учился на курсах повышения квалификации мастеров и курсах марксизма–ленинизма.

В 1949 году открылся у нас вечерний техникум. В 1953 году отдел кадров направил меня в сектор 11 (начальником был Некруткин В. М.) в группу Спаского Л. П. Группа занималась импульсной рентгенографией, новым направлением в науке, и я был направлен на стажировку в сектор 3 в отдел доктора наук Тарасова Д. М., где принимал участие в монтаже 8-кадровой импульсной рентгеновской установки в каземате 8 на 2-й площадке. В это время я учился уже на 5 курсе техникума, и мне предоставили возможность делать дипломную работу в секторе 3. Ее темой стала сборка однократной импульсной рентгеновской установки. В 1954 году установка была смонтирована в каземате 1 на площадке 2 на емкостях ГИН-500, ее мощность составила 2 млн. вольт, пробивная способность по свинцу – 29–30 мм, а я успешно защитил диплом.

По некоторым причинам в этом же году сектор 11 расформировали, и нашу группу передали в отдел 26 сектора 3, где начальником отдела был Иванов А. Г. В ее состав вошли сотрудники 3-го сектора: Спаский Л. П., Кочкин Л. И., Максимов И. Е., Лебедев Л. И. и Жалостникова Л. М. В 1954–1967 годах эта группа занималась исследованиями многих узлов специзделий. Кроме

метода импульсной рентгенографии, мы снимали многие процессы и на фотохронографах. Работа была очень интересной, и многие отдавали все свои знания и опыт.

Отдел 26 в секторе считался очень важным и решал сложные задачи. В отделе было несколько групп, каждая из которых занималась своей темой. Вот некоторые руководители групп: Калашников Б. С., Новиков С. А., Минеев В. Н., Макаров В. Д., Новицкий Е. З. Люди не считались со временем и работали в любое время суток. Работа была очень опасной из-за использования ВВ, высоких напряжений и мощного рентгеновского излучения. Мы часто получали благодарности, премии, ордена, медали. Многие были награждены памятными значками “50 лет ВНИИЭФ, испытаний атомной и водородных бомб”, почетными званиями “Ветеран ВНИИЭФ”.

Однажды мы всей группой выехали на опыт во главе с начальником отдела Ивановым А. Г. После того, как бегло просмотрели пленку и убедились, что все хорошо, А. Г. сказал мне: “Проси у диспетчера сигнал на взрыв”. Раньше взрывные работы велись под один звуковой сигнал. Я зашел в каземат и позвонил диспетчеру Климову Н. Е., а он мне сказал, что уже дал сигнал соседнему каземату. Быстро выскочив из укрытия, крикнул, чтобы все спрятались в каземате № 1, так как наши соседи уже получили разрешение взрывать. Едва люди успели забежать в каземат, как прозвучал взрыв. Казематы расположены на одном поле под углом 90° на расстоянии 150–200 м друг от друга.

После этого случая были переработаны инструкции, и все взрывные работы стали вестись под 2 звуковых сигнала.

Я очень горжусь тем, что работал с грамотными и умными людьми. С грустью вспоминаю то время, потому что его уже не вернуть. Отдел 26 стал для меня вторым домом. Получали мы все не очень большую зарплату, но атмосфера была спокойной, дружелюбной. В 60-е годы сложилась традиция проводить отпуска семьями на берегу реки. Жили в палатках. Ловили рыбу, загорали. Особенно запоминающимися были походы на моторных лодках по Мокше и Оке, поездки на Ахтубу. В выходные дни вместе выезжали на Сатис и Мокшу, на базары в окрестных селах, где можно было недорого купить фрукты и овощи. Часто помогали ближайшим колхозам и совхозам в уборке урожая овощей.

Е. В. Савинов

На Ахтубу

Вспоминается первая поездка на Ахтубу в 1965 году. В то время она еще была мало “освоена” туристами. Об этом сказочном крае мы узнали от двух городских рыбаков, которые побывали там первыми. Путешествие было захватывающим. Подобрался большой коллектив единомышленников, с женами, детьми. Всего около 20 человек. Чтобы получить полное впечатление от отпуска, решено было пройти на теплоходе по Волге от Нижнего до Волго-

града. После круиза по Волге проделали небольшой путь на электричке от Волгограда до станции Чап-Чачи (в 9 км от Ахтубы) и через сутки добрались до сказочной реки. Жизнь в палатках была великолепным отдыхом. Теплая, прозрачная вода, ласковое солнце, много яблок, арбузов, помидоров, рыбы... Со временем у нас появились машины. Вспоминается автопробег 1967 года. Возглавлял его Максимов Иван Егорович на “горбатом” запорожце. В пробеге участвовали старенькие “Москвичи”, водителями которых были Иванов А. Г. и я. Дороги в те времена были плохие. Тем более поход в таких условиях показался нам полным романтики и особой прелести. На этот раз мы расположились в небольшой рощице, которая спасала нас от палящего солнца. Здесь была и жилая зона из палаток, кухня с костром и складом для продуктов. В “столовой” соорудили длинный стол из старых досок. Для спуска к реке был сделан удобный мостик на сваях... В компании туристов собралось несколько любителей ловли хищной рыбы на спиннинг. Рыбалка на спиннинг – захватывающее зрелище.

Рано утром отряд из 3–4 человек (Максимов, Иванов, Синицын, Савинов) обычно выдвигался на песчаную косу. Чайки “сигнализируют”, где перемещается стая мальков, за которой охотятся “полосатые” хищники и щуки.

Каждый заброс блесны приносит успех. Иногда лески от двух спиннингов пересекают друг друга, и на тройниках у двух рыбаков одновременно засекаются очередные рыбины. Ловить приятно, чистить – не очень. Зато всех ждет шикарный обед. На длинном обеденном столе равномерно ставятся полиэтиленовые тазики с жареными окунями и красными ахтубинскими сочными

помидорами. Помидоры и яблоки достаются нам сравнительно просто – по бартеру, за рыбу. Был случай, когда за 2 бутылки вина местные сторожа позволили нам “пограбить” колхозный сад. Наши походы не обходились без курьезов. Один такой случай произошел с нашим командором Максимовым И. Е. В очередной раз в сельский магазин за продуктами отправился он сам с помощником на “горбаче”. На обратном пути завернули на бахчу. Проезжая по дамбе через поливной арык, командор принял заросший травой склон за ровную твердую поверхность и, естественно, “оступился” на 2 колеса. Автомобиль удачно сделал 2 переворота через крышу (старый запорожец имел форму, близкую к сфере), “приземлился” в арык на колеса и начал медленно погружаться в воду. И. Е. держался невозмутимо за руль, продолжая управлять техникой. Штурман Володя Горский в панике вы-



И. Е. Максимов и А. Г. Иванов
с утренним уловом



Перед отъездом с Ахтубы

давил ногами заднее стекло и выпал из кабины. Запорожец достиг колесами дна. Уровень воды оказался по грудь водителю. По поверхности воды поплыли бумажные купюры... Нашли грузовик. Вытащили “горбатого” из пруда. Из открытых дверей вылилась вода, а бедолагу притащили на тросе в лагерь на ремонт. Конечно, запорожец имел побитый вид. Но глаза боятся, а руки делают, говорит народная поговорка. Действительно, после 2–3 дней работы над ним, используя наличный автоинструмент и коллективную смекалку, вновь придали ему божеский вид. Конечно, он не выглядел конфеткой, но после смены масла в моторе вновь заработал и доставил до дома своих хозяев.

В. Н. Минеев

Моя работа в отделе 26

При зачислении в 1951 году в ММИ (позднее МИФИ) с нас взяли подписку о том, что мы согласны получить специальность, которую предложит институт. В начале четвертого курса нам объявили, что половина нашей группы будет специализироваться по “специальности академика Н. Н. Семенова”, и все занятия, кроме марксизма и политэкономии, будут проводиться в Институте химической физики (ИХФ) Академии наук. В эту группу попала и вся наша компания: Роберт Осипов, Виктор Шутов, Лев Рябев и я. Людмила Старостина, Нина Галкина, Гера Дробязко и Виктор Сергеев были также переведены в эту группу. Приняли нас в ИХФ очень хорошо. Механику сплошной среды читал А. С. Компанеев (впоследствии член-корреспондент АН СССР),

семинарские занятия проводил К. Е. Губкин. Уже в Арзамасе-16 мы узнали, что в то время в ИХФ под руководством А. С. Компанейца проводились работы по ядерному оружию. Физику взрыва и проектирование обычных кумулятивных боеприпасов читал нам Александр Федорович Беляев. Курс лекций по регистрации быстропротекающих процессов (и семинарские занятия) блестяще читал Георгий Львович Шнирман – руководитель проектирования, изготовления и монтажа блока управления регистрации всех параметров первого атомного взрыва в системе единого времени. Очень интересными были лекции В. С. Емельянова (начальник научно-технического отдела МСМ) об основах проектирования оборонной техники. Все лекции были секретными.

Мы быстро освоились и поняли, что нас готовят к работе в Арзамасе-16, в котором проводятся работы по созданию ядерного оружия. В ИХФ мы получили первые навыки работы со взрывчаткой и секретными документами. Научились плавить и прессовать взрывчатку и изготавливать заряды. Этому нас научила Ирина Игоревна Тамм, дочь академика И. Е. Тамма, который работал в Арзамасе-16. Получили мы и навыки проведения взрывных работ в железобетонных камерах. Освоили технику фотографирования быстропротекающих процессов на новом приборе – сверхскоростном фоторегистраторе СФР-2 (скорость съемки – 3 млн. кадров в секунду) и на установке Теплера. Научились измерять скорость ударной волны с помощью электроконтактной методики и методики световых зазоров. К каждому студенту был прикреплен ответственный сотрудник из отдела доктора А. Ф. Беляева. О том, что они принимали участие в разработке первой советской атомной бомбы в Арзамасе-16, мы узнали позже. За мной наблюдал сам А. Ф. Беляев. Он не скрывал, что знает о том, что мои родители работают с 1946 года на предприятиях Минсредмаша.

ИХФ был тесно связан по работе с другими институтами АН СССР. Для нашей группы были организованы практики-экскурсии в Институт физических проблем (расположенный рядом с ИХФ), Физический институт, Институт металлургии, Институт вакуумной техники.

В ИХФ царила домашняя обстановка. На работу приходили к 9 часам. Летом во время обеда успевали искупаться в Москве-реке. На обед ходили в столовую ВЦСПС, каждую субботу были танцы, на которых можно было увидеть видных ученых: академика Н. Н. Семенова, будущих академиков и членов-корреспондентов В. И. Гольданского, А. С. Компанейца, аспиранта К. Губкина. Это они помогли нам постичь основы физики взрыва и работу обычных боеприпасов, в особенности кумулятивных. Умели они и отдыхать и были лихими танцорами.

На третьем курсе меня, несмотря на оторванность от МИФИ, избрали секретарем комитета ВЛКСМ курса. Карен Егиян был секретарем комитета ВЛКСМ факультета. Время было тревожное. До нас доходили слухи о волнении студентов физфака МГУ. Все началось с дискуссий, навязанных студентам, о дуализме света и природе химических связей.

Мне, как секретарю курсового комитета ВЛКСМ, предложили подумать о том, кого можно рекомендовать в кандидаты в члены КПСС. Наш комитет дал рекомендации Льву Рябеву и Карену Егияну. Рябев, Егиян и я были при-

няты кандидатами в партию Дзержинским райкомом КПСС Москвы. Рекомендацию в кандидаты мне дал Виктор Смирнов.

На пятом курсе (в сентябре 1955 года) мы были командированы для прохождения преддипломной практики и написания дипломной работы в Приволжскую контору. Таков был адрес, где располагалось КБ-11(п/я 975, потом Всероссийский институт экспериментальной физики). Документы, подъемные и деньги на железнодорожные билеты, пропуска на “объект” были оформлены в представительстве “объекта” в Москве, на Цветном бульваре. Там же мы получили разрешение на приобретение билетов в особой кассе Казанского вокзала. В кассе надо было сказать, что нам нужны билеты “до конца”. Это означало, что оплачивали проезд именно в тех трех вагонах, шедших до города, которые прицеплялись к поезду “Москва–Первомайск”. Мы были предупреждены об уголовной ответственности за разглашение любой информации, куда и зачем мы едем, что являлось государственной тайной. После Первомайска наши вагоны цепляли к другому поезду, и примерно через 40 минут мы оказывались на КП, военные проверяли паспорта и сверяли наши фамилии со списком лиц, которым разрешалось въехать в этот день в город. Офицер на КП сказал, что сразу по приезде в город надо явиться в отдел режима.

Поселили нас в центральной гостинице. На следующий день встретились с главным инженером газодинамического сектора 3 Сергеем Николаевичем Матвеевым. Он распределял нас по отделам, разговаривая с каждым с глазу на глаз. Меня спросил, чем я бы хотел заниматься: наукой или конструкциями. Мне были ближе конструкции, поэтому вместе с Нечаевым попал в отдел № 26. Николай Александрович Казаченко был его начальником.

В отдел входило четыре группы под руководством Анатолия Григорьевича Иванова (С. Новиков, Л. Кочкин, Г. Степанов и Н. Зворыкин); Ивана Карловича Саккеуса (И. Е. Максимов, Л. И. Лебедев); Алексея Григорьевича Олейника (В. Д. Макаров, Е. В. Савинов и Г. Безруков); Бориса Сергеевича Калашникова (И. Юферов, А. Чеканов).

Все дипломники были зачислены на работу в качестве препараторов 5-го разряда с окладом 970 рублей + 20 % за зону + 10 % за взрывные работы. Каждый квартал платили премию в размере оклада. От ММИ нам почтой присылали стипендию 750 рублей (как отличникам) и командировочные (20 рублей в сутки). За гостиницу мы не платили.

Я начал работать над дипломным проектом в группе теоретически грамотного экспериментатора А. Г. Олейника. Алексей Григорьевич читал для сотрудников отдела курс лекций и вел практические занятия по газодинамике.

Мне поручили работу – экспериментальное исследование устойчивости плоских ударных волн в алюминии и стали. Руководителем дипломной работы стал А. Г. Олейник. Суть методики исследования заключалась в определении закона развития возмущений на фронте ударной волны в исследуемом материале по мере движения волны по нему. Мы создавали фронт волны в виде гофрированной поверхности синусоидальной формы и с помощью высокоскоростной фотографии изучали, как меняются возмущения на поверхности фронта по пути движения ударной волны. Первые опыты в этом направлении были выполнены А. Г. Олейником и Е. В. Савиновым. Оказалось, что возму-

щения, колеблясь с изменением знака (отставания и опережения относительно фронта), затухают примерно на порядок при прохождении фронтом волны пути, равного длине волны возмущений. Заметим, что начальная амплитуда возмущений составляла в наших опытах 0,3 миллионной доли секунды. Для практики этих результатов было достаточно. Однако мы обнаружили малый эффект, заключающийся в дисперсии развития возмущений на фронте ударной волны. Это означало, что в безразмерных координатах “амплитуда возмущений (деленная на начальную амплитуду) – путь, пройденный ударной волной (деленный на длину волны возмущений)” кривые несколько расходятся для каждой длины волны. В то время металлы, сжатые ударной волной до давлений, примерно равных 500 тыс. атмосфер, а с такими давлениями я и работал, считались жидкостью с малой вязкостью. А для такой жидкости дисперсии не должно было быть. Следовательно, ударно-сжатые плоской волной алюминий и уран нельзя рассматривать как идеальные жидкости. Мы с А. Г. Олейником несколько раз перепроверяли результат. На одном из совещаний академик А. Д. Сахаров обратил внимание на этот результат и пригласил Олейника и меня к себе. Так началась наша работа с А. Д. Сахаровым, которая продолжалась до его отъезда в 1968 году с “объекта”.

В отличие от академиков Ю. Б. Харитона и Я. Б. Зельдовича, Сахаров редко выходил за пределы обычного круга общения, он общался больше с теоретиками. Ю. Б. Харитон ежедневно работал с теоретиками, конструкторами и экспериментаторами. Я. Б. Зельдович часто выступал на семинарах с новостями науки и техники. Академики много времени проводили в Москве. Особенно часто Яков Борисович бывал в отделе С. Б. Кормера (в котором работал А. И. Фунтиков), где вникал в результат каждого опыта, будь то опыты с изделиями или опыты, связанные с исследованием оптических или электрических свойств веществ в условиях ударного сжатия. За всю мою работу на “объекте” я знаю только один случай, когда А. Д. Сахаров пришел в 3-й сектор в отдел к А. Г. Иванову. Телохранитель Андрея Дмитриевича не пустил даже начальника сектора в кабинет Иванова, в котором проходила эта встреча.

И вот Олейник и я у Сахарова. Кабинет маленький, с одним окном, не предназначенный для больших совещаний. Андрей Дмитриевич позвонил и пригласил к себе Роберта Мееровича Зайделя, он работал в секторе Я. Б. Зельдовича и занимался устойчивостью детонации. Я стал рассказывать о результатах опытов. Андрей Дмитриевич попросил нарисовать схему опытов и показать фотохронограммы. Обсуждение продолжалось до обеда. Подводя итоги, Сахаров сказал: “Судя по теории размерности, наши результаты несут информацию о вязкости ударно-сжатых материалов!”; попросил всех нас подумать об этом. По его мнению, коэффициент вязкости исследованных материалов в условиях за фронтом ударной волны должен быть не более 10^6 пуаз, и этот результат будет достигнут, если число Рейнольдса в наших опытах принять равным единице. Все стало просто и понятно. Итак, мы стали работать по заданию А. Д. Сахарова. Это было очень важно для отдела, который занимался изделиями. Через месяц мы втроем снова собрались у Сахарова. Он согласил-

ся с нашим подходом к оценке вязкости и сделал это так, как будто к этому делу он был мало причастен. У меня тогда создалось впечатление, что он знал заранее результат оценок коэффициента вязкости.

Нашей группе время учебы было продлено на шесть месяцев, так как обычно студенты приезжали в Арзамас-16 в конце четвертого курса, а мы, как я уже писал, приехали в начале пятого.

К июню 1956 года, к моменту защиты моей дипломной работы, Р. М. Зайдель провел теоретические оценки влияния вязкости вещества за фронтом ударной волны на устойчивость малых возмущений на фронте, и тогда были получены оценки коэффициентов вязкости алюминия и урана, которые составили 10^4 – 10^5 пуаз. Эти результаты были обсуждены с А. Д. Сахаровым. Он остался доволен ходом исследований.

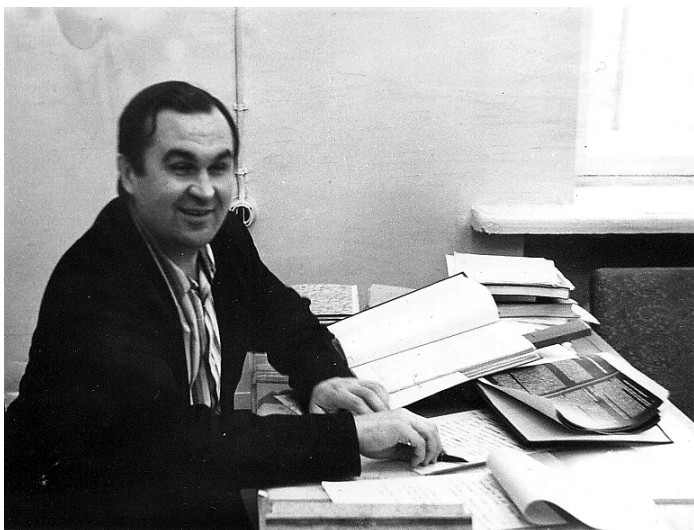
Защитился я на отлично, и меня, как и всю нашу компанию, оставили работать в Арзамасе-16.

На “объекте” в секторе 3 проработал 21 год инженером, старшим инженером, старшим научным сотрудником, начальником лаборатории. Сектор 3 назывался газодинамическим сектором, в настоящее время это Институт экспериментальной газодинамики и физики взрыва.

На “объекте” я был принят в ряды КПСС. Рекомендации мне дали Виктор Смирнов (из Подольска) и Юрий Феофанович Алексеев.

Отдел 26 был создан как отдел фотохронографических исследований процессов. Однако тематика отдела сразу начала расширяться. Группе А. Г. Иванова, кроме работ по кожухам для зарядов, работающих по принципу атомного обжаривания (АО), было поручено изучение прочности стальных оболочек (колб) при внутреннем взрыве, а это потребовало более тщательного изучения прочности веществ при взрыве. В то время группа Саккеуса внедряла импульсную рентгеновскую установку для отработки зарядов. Группа Б. С. Калашникова отрабатывала шаровой заряд для реализации принципа малогабаритного АО (МАО). Группа А. Г. Олейника изучала симметрию движения детонационных, ударных волн и схождения оболочек. Я начал работать в группе А. Г. Олейника. В. С. Кустов проводил контрольные испытания серийных изделий, выпускаемых заводом № 3.

В конце 1957 года А. Г. Олейник, Р. М. Зайдель и я опять были у Сахарова. Он посоветовал продолжить наши исследования устойчивости ударных волн и вязкости веществ при ударном сжатии и просил нас подумать над поиском иных ударно-волновых течений, более простых для выявления роли вязкости и прочности, чем метод возмущений на фронте ударных волн. Работа имела важное практическое значение и была связана с комплексом вопросов по изучению причин отказа изделия, произошедшего в 1953 году. В этом изделии для уменьшения мидельного сечения была впервые применена не 32-элементная фокусирующая система, а 12-элементная и ряд других усовершенствований. Естественно, что условия работы изделия в этом случае стали более жесткими. Возможно, что за счет ухудшения симметрии схождения оболочек реализовались условия для отказа. Вязкость и прочность материала оболочки должны были способствовать затуханию возмущений. Сахаров, по-видимому, знал уже, какой коэффициент вязкости урана стабилизирует возмущения. Такой резуль-



В. Н. Минеев

тат можно было получить, например, проведя сравнительный анализ работы сходных изделий и характерных возмущений в них.

Мы начали опыты по исследованию устойчивости ударных волн и вязкости воды, ртути, органического стекла и расширили диапазон ударных давлений от ста тысяч атмосфер до миллиона атмосфер. Воспоминания А. Г. Олейника в книге “Три задачи академика Сахарова” (Троицк: Тровант, 2004) напомнили мне обстановку на “объекте” в конце 50-х годов и наши с А. Г. Олейником представления о требованиях к симметрии обрабатываемых изделий.

К концу 1957 года было проведено 7 атомных взрывов. В СССР первый атомный взрыв 29 августа 1949 года был осуществлен на заряде, скопированном с американского “Толстяка”. Сферически симметричная детонационная волна, возникающая от 32-линзовой системы, обжимала плутониевый шар и переводила плутоний в надкритическое состояние. Это была идея изделия. Однако требования к отклонению от сферичности детонационной волны и сжатия ядра, по-видимому, не были известны научному руководству атомного проекта СССР. Очевидно, что степень симметричности процесса имплозии (взрыв внутрь) заряда зависела от допусков на размеры его отдельных элементов и от технологии их изготовления. Симметрия схлопывания элементов заряда фиксировалась с помощью техники высокоскоростной киносъемки. Однако этого было недостаточно. Дело в том, что кроме симметрии на заданный момент времени работы изделия возникала задача оценки разнородности, т. е. распределения давления за фронтом детонационных и ударных волн. Последнее и определяет степень симметрии на момент перехода обжатого плутония через критическое состояние.

По инициативе К. И. Щелкина степень симметрии РДС-1 определяли с помощью обжатия алюминиевого шара, помещаемого в полость шарового заряда (ШЗ) взрывчатого вещества (Жучихин В. Первая атомная. – М.: ИздАТ,

1993). Если шар после опыта был сферически симметричным и оставался не разрушенным, то симметрия заряда считалась допустимой. Как известно, испытание заряда РДС-1 прошло успешно.

Тем не менее, испытаниям атомных бомб РДС-2 (24 сентября 1951 года) и РДС-3 (18 октября 1951 года) предшествовали события, которые могли повлиять на судьбы руководителей атомного проекта СССР. Дело в том, что эти изделия имели принципиально новую схему размещения ядерных материалов – оболочечно-ядерную. Было очевидным, что она является более чувствительной к асимметрии имплозии, чем шаровая схема. Об этом свидетельствовали расчетные работы известного механика А. А. Ильюшина. Полагая, что материал оболочек ведет себя как идеальная жидкость, он получил результат, свидетельствующий о неустойчивости процесса схлопывания оболочек. Гипотеза о том, что при высокоскоростной деформации металлы ведут себя как идеальные жидкости, не вызывала сомнения, по крайней мере, у научного руководства “объекта”. Эта гипотеза плодотворно использовалась в теории кумулятивного заряда и бронепробития под действием высокоскоростных струй. Было удивительным, что А. А. Ильюшин с сотрудниками МГУ еще в 1940–1941 годах провели экспериментальные исследования вязкости металлов при высокоскоростной деформации и показали, что коэффициенты вязкости металлов составляют около 10^4 пуаз. Однако Ильюшин не воспользовался своими данными о вязкости. Руководство атомного проекта и правительство страны знали о работах А. А. Ильюшина (по устойчивости оболочек), но дали добро на испытания. Испытания прошли успешно. Их научный результат заключался в том, что было доказано, процесс схлопывания оболочек является устойчивым, или, по крайней мере, возмущения развиваются без катастрофических последствий. В первом случае можно было принять, что материалы оболочек – не идеальные жидкости, а характеризуются в этих условиях прочностью и вязкостью. Позже, в 1957 году А. Д. Сахаров подтвердил результат А. А. Ильюшина и теоретически показал (Олейник А. Г. Три задачи академика Сахарова. Троицк: Тровант, 2004), что для сферически-симметричных оболочек без учета диссипации энергии возмущения на внутренней поверхности оболочки растут по мере ее схождения к центру.

По совету А. Г. Олейника и Н. А. Казаченко я стал посещать семинары теоретиков и математиков. Там я познакомился с Р. М. Зайделем, И. Д. Софроновым, В. Климовым, Ю. Киселевым. Мы ходили в походы и даже два раза ездили на альпинистские сборы на Кавказ. Среди организаторов походов были Алексей Олейник и Виктор Шутов. Запомнился велосипедный поход на Оку (120 км). В то время выходным днем было только воскресенье, поэтому мы выехали в субботу после работы. Под утро приехали на Ватажку (Рязанская обл.), что на берегу Оки, искупались, пообедали и поехали обратно. У велосипеда А. Г. Олейника сломалась педаль, и практически все 120 км он крутил одной ногой, привязав ее к педали. А дорога была вся песчаной. Сила была у Алексея невероятная.

Юра Киселев – человек очень интересной судьбы. Он работал у А. Д. Сахарова помощником. Используя счетную машинку “Мерседес”, он спроектировал под руководством Андрея Дмитриевича одно из бинарных

изделий и получил за это Ленинскую премию. Теоретикам это не понравилось, и он вынужден был уехать в Ленинград. У нас с ним было общее увлечение – мотоцикл. Мы любили кататься вечерами по лесу.

Кроме работы в группе А. Г. Олейника, Н. А. Казаченко поручил мне также участвовать в испытаниях контрольных блоков серийных изделий, которые проводились В. С. Кустовым. Это было необходимо, как он выразился, для роста. Эта работа стала для меня школой тщательного оформления результатов испытаний и работы с военной приемкой. Само проведение опыта обставлялось самым серьезным образом. Все операции выполнялись по инструкции, которая читалась всякий раз вслух. До доставки блока на площадку взрывных работ № 3 мы устанавливали подставку для него на поле и наводили прибор СФР-2. Блок привозили на автомашине под прикрытием второй машины и автокрана. Все машины имели плакаты с надписью “опасно”. Встречные автомашины обязаны были остановиться, обгон запрещался. Блок во время транспортировки охранялся ефрейтором и солдатом, солдат потом оставался рядом с казематом, в котором размещались во время испытания испытатели и оборудование, а также приборы для испытания. Во время взрыва солдат с автоматом находился рядом с казематом под стальным колпаком. Блок устанавливался краном на подставку. Вместе с блоком привозили и фонарь, который в летнее время заполнялся водой, а зимой – смесью спирта и воды. Фонари для разных типов блоков имели объемы 5–10 литров. Заполненный фонарь устанавливался в геометрическом центре блока. Далее на блоке крепилась система фидеров с розетками (с фальшпробками синего цвета) для электрического инициирования капсулей-детонаторов. Последняя операция – установка боевых пробок (красного цвета) с капсулями и подключение системы фидеров к подрывной линии – выполнялась Кустовым и мною (когда он брал меня с собой). Чтобы выполнять эту операцию, а также иметь право самостоятельного ведения взрывных работ, я сдал специальной комиссии экзамен и получил единую книжку взрывника. После взрыва фотопленки обрабатывались в каземате, и В. С. Кустов звонил дежурному по объекту с докладом о том, что испытания выполнены, фотопленки в порядке. На следующий день (включая и субботу) должны быть обсчитаны пленки и заполнен специальный формуляр на изделие. Поскольку на каждый опыт выдавался спирт (на протирку деталей и сушку фотопленки), то 0,5 литра всегда оставалось. И здесь тоже было все расписано. Шофер нашей отдельской автомашины ГАЗ-69 Жора Селяхов вынимал сало и хлеб, а также фляжку для своей порции спирта. После этого Жора развозил всех по домам. Я также участвовал в контрольных отстрелах группы электродетонаторов для определения разновременности их срабатывания, а также в анализе работы системы инициирования изделий и разновременности срабатывания электродетонатора в летных условиях. Последние испытания проводились методом Дотриша с отметкой встречи 31-й детонационной волны на стальной плите, которая на парашюте приземлялась на землю.

Принимал я участие в исследовании симметрии изделий 901П и 917ГНЭ. Это были изделия, в которых периферийные части не менялись, но заменялись только центральные металлические части. Их симметрия оказалась пло-

хой. Однако я получил бесценный опыт общения с производственниками: сборщиками изделий во главе с Сашей Рулевым, начальником участка прессования зарядов ВВ Людмилой Капитоновной Родионовой (ставшей моей женой); поэтому на заводе № 2 я стал своим человеком.

После цикла работ над натурными изделиями надо было решаться: или и дальше продолжать работать над конкретными изделиями, или сосредоточиться на исследовании вязкости ударно-сжатых веществ. К 1961 году накопился экспериментальный материал по устойчивости ударных волн и вязкости воды, ртути и железа. Мы столкнулись с парадоксом: несмотря на разные начальные агрегатные состояния и типы исследованных веществ, их вязкость при ударном нагружении оказывалась примерно одинаковой. Мы с Олейником не забыли совета А. Д. Сахарова о поиске новых типов течений, в которых наиболее просто проявлялись бы механические свойства вещества.

Мы беседовали с Н. А. Казаченко, С. Н. Матвеевым и И. Дорожкиным, которые принимали участие в отработке РДС-1 методом обжата зерна. Они рассказали много интересных историй, связанных с использованием этой методики, в частности, об образовании полости в центре зерна и оплавлении ее поверхности. Наши оценки показали, что для случая “малой рентгеновской шаровой модели” с радиусом заряда, равным 75 мм, диссипация энергии за счет сил прочности и вязкости составляет 10 % от кинетической энергии металлической центральной части. Однако этим вопросом уже занимался Борис Васильевич Литвинов, который работал в отделе доктора наук Диодора Михайловича Тарасова. Б. В. Литвинов и сейчас изучает явления, протекающие при ударном сжатии шаров. А. Г. Олейник и я беседовали с Д. М. Тарасовым и Б. В. Литвиновым о роли прочности и вязкости материалов в реальных зарядах, в особенности малогабаритных, которыми занимался Б. В. Литвинов. Эти разговоры сыграли определенную роль при моем поступлении в аспирантуру. Дело в том, что поступающему в аспирантуру (при нашей организации была вечерняя аспирантура) нужен был руководитель – доктор наук. В нашем отделе не было не только докторов, но и кандидатов наук. Доктор Л. В. Альтшулер отказался быть руководителем моей аспирантуры, так как не верил в “мою” вязкость. Д. М. Тарасов согласился быть моим руководителем. Тему диссертации сформулировали так: “Устойчивость ударных волн и вязкость веществ за фронтом ударных волн”. По совету Д. М. Тарасова я поговорил с А. Д. Сахаровым о теме диссертации. Он посоветовал обязательно запланировать дополнительные исследования вязкости урана (природного или обедненного).

Перед заседанием НТС “объекта”, на котором должна была утверждаться тема моей диссертации, Юлий Борисович Харитон, научный руководитель “объекта”, вызвал меня. Его интересовали вопросы участия А. Д. Сахарова, Р. М. Зайделя, А. Г. Олейника и Д. М. Тарасова в исследованиях. Он несколько раз мягко спрашивал меня, не будет ли формальной роль Д. М. Тарасова, как руководителя моей аспирантуры, верит или нет А. Д. Сахаров в успех моей работы и почему он не стал руководителем моей аспирантуры. Я ответил, что не обращался к Андрею Дмитриевичу по поводу руководства моей работой. Слова Ю. Б. показали мне, что и он склонен согласиться с мнением Л. В. Альтшулера. (Эту позицию Л. В. Альтшулер отстаивал всю свою жизнь, выступая

в научных публикациях.) Ю. Б. на заседании НТС отсутствовал. Д. М. Тарасов выступил очень напористо, говоря о важности темы диссертации для изделий. Я был на этом НТС. Тему утвердили. Н. А. Казаченко, с которым я поделился впечатлениями о беседе с Ю. Б., сказал, что надо быть очень аккуратным, а эксперимент, прежде всего, должен быть многократно подтвержден. С согласия А. Г. Олейника в его группе была создана подгруппа для работы по теме моей диссертации, а тема была включена в план работы сектора 3.

Все эксперименты по теме диссертации были выполнены совместно с инженером Евгением Васильевичем Савиновым, взрывниками Федором Ивановичем Цыпленковым, Геннадием Ивановичем Безруковым и препараторами Николаем Хохловым, Олегом Клещевниковым. Работали дружно, выезжали по два раза в неделю на площадку, делая 1–3 взрывных опыта за каждый выезд. Работы на площадке проводились по расписанию до обеда и после обеда. Расписание устанавливалось каждый месяц и строго соблюдалось.

Учеба в аспирантуре (1962–1965 годы) проходила успешно. Экзамен по газодинамике я и А. Фунтиков сдавали Л. В. Альтшулеру. Подготовка к экзамену и сам экзамен многое мне дали. Очень интересными были лекции по марксизму-ленинизму второго секретаря ГК КПСС, кандидата наук Татьяны Андреевны Монаенко (во время Великой Отечественной войны она была первым секретарем Алтайского крайкома ВЛКСМ). В группу аспирантов входили Юрий Стяжкин (сектор 3), Валентин Копышев (сектор 2), Эдуард Фомушкин (сектор 4). Все стали потом докторами наук. С нами учился технолог первого завода Е. М. Котяхов, который потом работал в Оборонном отделе вместе с Л. Д. Рябевым в ЦК КПСС. (С Евгением Михайловичем я встречаюсь до сих пор. Он много помогает мне по работе.) Мы задавали “острые” вопросы, и Татьяна Андреевна всегда давала честный ответ, говоря, что в нашей аудитории следует говорить предельно откровенно. Нам это нравилось.

В декабре 1964 году в журнале “ДАН СССР” была опубликована наша совместная с А. Д. Сахаровым статья по исследованию устойчивости ударных волн вязкости веществ за фронтом ударных волн. Писали мы ее несколько месяцев. В течение этого времени были поставлены дополнительные опыты, сведения о них я заносил в особую тетрадь с грифом “секретно”. Начальник первого отдела Гришин помогал мне соблюсти режим секретности, а иногда сам перевозил тетрадь на 21 площадку, где работал Сахаров. Андрей Дмитриевич внимательно изучал результаты наших опытов. Наконец, наступил тот момент, когда стало понятно, что статья может быть послана в редакцию журнала. Дорога к защите была открыта. Интересно, что инициатором написания статьи именно в “Доклады Академии наук” был академик Я. Б. Зельдович. Часто бывая в секторе 3, он заходил в нашу комнату, спрашивал, где статья. Однако Л. В. Альтшулер, рассматривая акт экспертизы, сказал, что нужна виза Юлия Борисовича. Ю. Б. помнил о беседе со мной при поступлении в аспирантуру, поэтому каждая фраза статьи обсуждалась очень придирчиво. Ю. Б. внес необходимую, на его взгляд, правку, и А. Д. Сахаров согласился с ней.

Я защитился 27 сентября 1965 года на ученом совете НИИ-204 (так условно назывался наш институт в системе ВАК) и стал кандидатом физико-математических наук. Новый “объект” был ведущей организацией.

После защиты Я. Б. Зельдович познакомил меня с Григорием Исааковичем Баренблаттом, работающим в то время заместителем директора Института механики АН СССР. Ранней весной 1968 года директор этого института академик Ишлинский пригласил А. Д. Сахарова, Р. М. Зайделя, А. Г. Олейника и меня к себе в институт на семинар. На его открытии Г. И. Баренблатт объявил докладчиком А. Д. Сахарова. Андрей Дмитриевич поднялся со стула и сказал, что в этой работе не он самый главный, лучше его сотрудники расскажут о работе (при этом все участники семинара привстали, чтобы разглядеть А. Д. Сахарова). На семинаре выступил я. Через три месяца Сахаров пригласил Р. М. Зайделя и меня на встречу к Ишлинскому. Там присутствовал и Г. И. Баренблатт. После разговора об устойчивости течений Ишлинский и Сахаров примерно на час остались одни. После встречи, уже в Арзамасе-16, Андрей Дмитриевич сказал, что все мы получили приглашение работать в Институте механики, и это произошло, по-видимому, не без влияния Я. Б. Зельдовича. Однако это предложение не было реализовано, так как А. Д. Сахаров заинтересовался другими делами. Об этом пишет и Г. И. Баренблатт в своих воспоминаниях о Сахарове (Он между нами жил. Воспоминания о Сахарове. – М.: Практика, 1996).

В 1964–1965 годах мы провели несколько опытов по схлопыванию стальной (Ст. 3) сферической оболочки (с наружным радиусом 110 мм) в системе, которая содержала ВВ только в фокусирующем поясе. Шаровой заряд ВВ был заменен пенопластом с наружным радиусом 220 мм. Результат опытов показал, что центральная область оболочки, не охваченной разгрузкой, схлопнулась в сектор сплошного шара. Кинетическая энергия оболочки, как и показывали оценки, оказалась равной энергии, диссипирующей на силы прочности и вязкости. Изучали мы и коническое схлопывание труб под действием продуктов детонации тонкого слоя ВВ. Пластика тогда еще не было, и мы использовали заряд литого тротила в виде трубы толщиной всего 4 мм. Стальные трубы также не схлопывались до конца. После появления пластика мы исследовали процесс потери устойчивости стальных труб при их схлопывании к оси.

В 1964 году А. Г. Иванов предложил мне заняться экспериментальным исследованием электрических свойств при ударном сжатии вещества. Работы зарубежных и наших ученых (А. Г. Иванова и Е. З. Новицкого) показали, что при движении ударной волны по материалу конденсатора возникает ЭДС в цепи, не содержащей источников тока. Тема оказалась интересной, и исследования велись в жесткой конкуренции с учеными США. Активное участие в этой работе принимал Е. З. Новицкий, Ю. В. Лисицын, Ю. Н. Тюняев и Н. П. Хохлов. Е. З. Новицкий и Ю. Н. Тюняев по этой тематике защитили кандидатские диссертации.

В 1976 году я и А. Г. Иванов опубликовали обзор “Электрические эффекты при ударном нагружении вещества” в журнале УФН, и А. Г. Иванов предложил мне написать открытую докторскую диссертацию, так как основные результаты были опубликованы в открытой печати. К этому времени у меня с моими коллегами было опубликовано в открытой печати 30 работ. Результаты работы носили и прикладной характер и были зарегистрированы как изобре-

тения (закрытые авторские свидетельства № 50471, 52809, 73071, 120964, открытое авторское свидетельство № 346615 на датчик давления).

Тема диссертации должна быть утверждена на НТС. И опять перед заседанием НТС я был вызван на беседу к Ю. Б. Харитону. Его интересовало, почему я не продолжаю работы по вязкости, прочности колб и каково будет практическое применение результатов исследований предполагаемой диссертации. Я рассказал ему, что работы по вязкости и прочности мы с А. Г. Ивановым продолжаем, и эти вопросы связаны между собой. Вопрос о прочности при взрывных нагрузках имеет значение для обеспечения безопасности атомных и химических реакторов. Дальнейшее развитие этой тематики требует внедрения новых низкоскоростных экспериментальных установок, чем мы и занимаемся. Рассказал о поддержке Льва Дмитриевича Рябева (директора “объекта” в 1974–1978 годах) этих работ и его инициативе в установлении контактов с Горьковским ОКБМ и его директором академиком Митенковым.

Практическое значение наших работ по теме диссертации заключается в обосновании некоторых схемных решений управления подрыва ГЧ, а также в оценке электрических наводок при различных воздействиях на ГЧ. Я рассказал, что по инициативе Л. Д. Рябева мы работаем по этой тематике с начальником отдела Дмитрием Григорьевичем Приемским и заместителем главного конструктора КБ-2 Юрием Валентиновичем Мирохиным (а я работал в КБ-1). Ю. Б. интересовался, как мы установили контакты с КБ-2, говорил, что совместные работы с КБ-2 и ОКБМ надо узаконить. Я понял, что мои ответы на вопросы не понравились Ю. Б., он не знал всего этого. Хотя главный конструктор КБ-1 Евгений Аркадьевич Негин знал о наших совместных работах с КБ-2 и ОКБМ.

В марте 2004 года, когда я писал этот раздел, Ю. Б. Харитону должно было бы исполниться 100 лет со дня рождения. Общеизвестна была его способность доискиваться до истины путем изучения, на первый взгляд, мелочей. Мелочи по Ю. Б. – это, прежде всего, внутренняя логика постановки проблемы и метод ее решения, включая мнимые проблемы и ошибочные решения. И Ю. Б. обижался, когда они проходили мимо него. Положение осложнялось тем, что Ю. Б. знал не только многие зарубежные секреты, но и секреты отечественной науки и производства, о чем он не мог рассказать или привести как доказательства правильности своих суждений. Поэтому у него был единственно правильный в таком случае выход – постепенно подводить собеседника к нужному решению. При этом у последнего иногда создавалось впечатление, что он учит академика.

В начале 1977 года диссертация “Электрические эффекты при ударном нагружении конденсированного вещества” была готова. Это была первая открытая докторская диссертация на “объекте”. Поэтому научный руководитель “объекта” академик Юлий Борисович Харитон внимательно отнесся к ней. Он прочел ее с карандашом в руках. Это заняло около двух месяцев. Читал он по вечерам, в моем присутствии. Организовывал эти встречи его помощник Александр Иванович Водопшин.



Л. И. Кочкин, В. Н. Минеев, Н. А. Казаченко, А. Г. Иванов, Л. В. Васильев,
С. А. Новиков. 1971 год

Диссертация была представлена Институтом атомной энергии (это было прикрытием “объекта”) для защиты в Институте химической физики (Черноголовка). Защита успешно прошла 8 апреля 1977 года. Оппонентами выступали доктора наук Р. М. Зайдель и А. Н. Дремин. Оппонирующей организацией был Физический институт АН СССР. Отзыв подписал академик Вул. В организации защиты много сделали Геннадий Алексеевич Ададунов (снс, ИХФ) и Генрих Михайлович Гуро (снс, ФИАН), которые прониклись симпатией к А. Г. Иванову. Все были участниками ВОВ. Г. А. Ададунов был большим ученым и интересным человеком. Жаль, что он вскоре умер.

В 1976 году А. Г. Иванов, я, В. И. Цыпкин, В. А. Рыжанский, О. А. Клещевников начали цикл исследований прочности корпусов ядерных реакторов и защитных сооружений АЭС. Работа была поддержана начальником “объекта” Л. Д. Рябевым, который вместе с нами съездил в г. Горький в ОКБМ. Встреча с Митенковым, директором ОКБМ, была полезной и положила начало циклу исследований, продолжающемуся в отделе до сих пор.

Весьма плодотворными и полезными в практическом отношении оказались работы по взрывному разрушению композитных материалов, в частности стеклопластиков. Эти работы были начаты в связи с разработкой В. А. Цукерманом, А. П. Зыковым и О. Печерским мощного водяного диода. А. П. Зыков сразу понял актуальность интереса к прочности труб из стекловолокна и организовал изготовление их для наших взрывных экспериментов. Одна из труб была даже заказана на завод (в Софрино). Отмечу, что С. А. Зыков, сын

А. П. Зыкова, работая в МНТЦ (Москва), помогал мне получить несколько зарубежных проектов.

Работы по прочности потребовали разработки дополнительных лабораторных установок: баллистической ударной трубы (БУТ-76), копра, лазерной и электромагнитной установок. В сочетании со взрывными экспериментами эти установки позволили исследовать упругопластические свойства и процессы разрушения конструкционных материалов в широком диапазоне скоростей деформирования.

БУТ-76 и копер были спроектированы, изготовлены и запущены в практику эксперимента (1976 год) всего за два года. Все это было выполнено конструктором отдела 36 сектора 3 Валентином Петровичем Погореловым. Ствол для установки был спроектирован и изготовлен на Машзаводе в г. Горьком при поддержке Л. Д. Рябева за три месяца! Неоценимую работу по монтажу и вводу в действие БУТ-76 провели А. Т. Шитов, В. И. Лучинин, Н. В. Погорелова (жена В. П. Погорелова), а также механики механического цеха во главе с М. В. Белкиным. В. И. Лучинин стал первым начальником этой установки. По работе на БУТ-76 В. П. Погорелов написал диссертацию и стал кандидатом наук.

В это же время В. В. Новиков выполнил цикл исследований по размагничиванию ферро- и ферримагнетиков в ударных волнах. На эту тему в 1983 году в журнале ФГВ был опубликован обзор. В. В. Новиков защитил кандидатскую диссертацию. Спроектировал и смонтировал электромагнитную установку. Это позволило провести исследования роли продуктов взрыва ВВ при разрушении оболочек при взрыве внутри них зарядов ВВ.

Н. П. Хохлов, участвуя в работах по пуску копра, одновременно переоборудовал серийную лазерную установку ГОС-1000 в однократный режим работы. При этом мы получили неоценимую помощь от А. И. Фунтикова. На этой установке мы провели исследование прочности металлических фольг при коротком лазерном ударе.

Все эти работы проводились при одновременной отработке нового методического оснащения: резистивного датчика деформации (А. Т. Шитов), пьезокерамических (Е. З. Новицкий), поляризационных (Ю. Н. Тюняев) датчиков давления и отметчиков времени.

В начале 70-х годов Е. З. Новицкий, я, Ю. Н. Бухарев и Д. Г. Приемский провели экспериментальные исследования серийных и разрабатываемых датчиков соударения ГЧ с преградами из различных материалов при скорости примерно 3 км/с. Наиболее просто такие условия соударения можно было реализовать при использовании зарядов ВВ. В этом случае в области крепления датчиков к ГЧ мы генерировали ударную волну с массовой скоростью 1,5 км/с, что соответствовало скорости удара 3 км/с.

С В. И. Цыпкиным и Г. Г. Савкиным (сектор 7) мы провели первые опыты по штамповке с помощью взрыва полусферических титановых оболочек размером около 1 м и разработали техпроцесс по взрывной штамповке.

Необходимо отметить, что все взрывные опыты в лаборатории проводились инженером Е. В. Савиновым, взрывниками Ф. И. Цыпленковым и Г. И. Безруковым.



За работой. В. В. Новиков и Ю. Н. Тюняев

В 1977 году на одной из конференций я познакомился с В. Е. Клаповским, работавшим в Красноармейском НИИ механизации Министерства машиностроения СССР (Пушкинский район Московской обл.). Институт разрабатывал технологию снаряжения всех обычных боеприпасов на 17 заводах Министерства машиностроения. Качество технологии снаряжения проверялось взрывом на полигоне “Геодезия” (бывший Софринский полигон). Из разговоров с С. Н. Матвеевым я знал, что на этом полигоне сотрудниками НИИ-6 были впервые начаты взрывные опыты по разработке баратоловых линз для первого изделия. В. Е. Клаповский пригласил меня на работу в КНИИМ. Так для меня начался новый круг работ в боеприпасных НИИ, которые принимали участие в первом этапе выполнения советского атомного проекта. В дальнейшем я работал в Москве в ГСКБП-47(НПО “Базальт”). В 1946 году постановлением Правительства КБ-47 МСХМ (директор Н. Т. Кулаков) была поручена разработка баллистического корпуса первого изделия по схеме (“Толстяк”). Это поручение не было выполнено. КБ-47 не смог отработать устойчивый баллистический корпус для бомбы, так как летные баллистические измерения проводились в то время на глазок. Как ни странно, наказания не последовало. Этот факт не свидетельствует о жестком контроле работ со стороны компетентных органов. Вот куда забросила меня судьба, и я убедился, какую титаническую работу провел Арзамас-16. Однако самый главный вывод был печальным – все НИИ, где мне пришлось работать после КБ-11 в Арзамасе-16 (включая головной институт ММ НИИ-6 (впоследствии ЦНИИХМ)), оказались в замороженном состоянии на первые послевоенные годы.

Я активно занимался партийной работой: в 1957–1959 годах был членом редколлегии стенной газеты “За науку” вместе с Рюриком Труниным и великолепным художником В. Некруткиным; в 1960–1962 годах – председателем

секторской комиссии партийного контроля; в 1966–1968 годах – членом парткома КБ-1 по производственной работе. Секретарем парткома был Валентин Стасько.



Сотрудники лаборатории. 1978 год. Сидят (слева направо): В. В. Новиков, Ю. Н. Тюняев, Т. И. Бурцева, Н. Г. Морозов, Ф. И. Цыпленков. Стоят: О. А. Клещевников, В. И. Цыпкин, В. А. Рыжанский, В. Н. Минеев, А. Н. Заньков, А. Т. Шитов, В. П. и Н. В. Погореловы; А. И. Крюков, Г. И. Безруков, А. И. Безруков

Как-то в 1968 году член парткома главный конструктор Е. А. Негин предложил обсудить неоднозначную, на его взгляд, статью А. Д. Сахарова “Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе”. Большинство коммунистов говорили о том, что, не читая статьи, трудно ее обсуждать, и попросили дать нам возможность ее прочитать. Статья ходила по рукам, и, конечно, мы ее прочитали. На мой взгляд, там не было крамолы.

В 1974–1976 годах я работал неосвобожденным секретарем партийной организации сектора 3. Организация состояла из 100 членов партии.

Много было сказано на прощанье хороших слов, когда я переводился в КНИИМ. Валентин Макаров даже сочинил по этому поводу стихотворение:

*Мы вместе начинали пластины возмущать,
Затем ты, отколовшись, стал ток с них получать,
Потом, уже зациклившись, залез, как джип, в сосуд,
Откуда пути различные, как правило, ведут.*

*Поколдовавши с колбами, ты в трубку вдруг полез,
Не выдержала, бедная, узнав теорий вес.
Упругая энергия – вот где корень зла,
Труба того не знала и лопнула сама.
Все дело тут в масштабе, решили доктора,
И в прочности настала прозрения пора.
Масштабы во Вселенной удобно проверять –
Отсюда ты с ракетами решил судьбу связать.
В понятии масштаба другой я смысл ищу,
Нужна вода большая большому кораблю!
Больших успехов в плаваны! Большого КПД!
Прими пожелание*

Макарова В. Д.

После ВНИИЭФ я работал в Красноармейском НИИ механизации (головной НИИ по снаряжению боеприпасов) и в НПО “Базальт” (КБ по проектированию авиабомб и средств ближнего боя), побывал на многих снаряжательных и механических заводах отрасли (в основном, на разборах причин аварий), в пос. Лесной Шиловского р-она (Рязанская обл.), Дзержинске (Горьковская обл.), Нижнем-Тагиле, Невьянске (Свердловская обл.), Донецке (Украина), Чапаевске (Куйбышевская обл.), Бийске, Искитиме (Новосибирская обл.), Эльбане на Амуре (Хабаровский край). Меня ошеломили масштабы серийного производства боеприпасов в мирное время. Приведу некоторые цифры. Линия по производству снарядов среднего калибра и мин имела производительность 20–30 тысяч штук в сутки. Отмечу, что еще в 1914 году подобная линия имела производительность 10–16 тысяч снарядов в сутки. Большая часть заводов по производству взрывчатых веществ и боеприпасов были построены еще при подготовке России к войне с Германией 1914 года.

Организатором в России этой отрасли был выдающийся московский предприниматель Н. Второв, чей особняк на Спасо-Песковской площади в Москве служит сейчас резиденцией посла США. Заказчиком от Главного артиллерийского управления Российской армии был генерал С. Ванков (не правда ли, эта фамилия созвучна фамилии Ванникова – организатора промышленности по производству боеприпасов в СССР). Интересно отметить, что в 1915 году Второв и Ванков организовали механическое и снаряжательное производство 76-миллиметровых снарядов (10 тысяч штук в сутки) в Москве (на Лужнецкой набережной, строение 26) всего за 38 месяцев. Снаряжали их мелинитом (пикриновой кислотой) – желтым красителем для тканей. Тротила всегда в России не хватало. Мелинит производился французской фабрикой “Фр. Баер и К”, расположенной рядом. Научным руководителем производства взрывчатки (как и удушающих средств – отравляющих веществ) в России был академик В. Н. Ипатьев. Его брат имел дом в Екатеринбурге, в котором была расстреляна царская семья.

Бывая на заводах, я интересовался их историей. Вот история трех заводов, которые сыграли выдающуюся роль в производстве боеприпасов в России и СССР. 1911 год – пущен Сергиевско-Самарский (ныне Чапаевский) завод взрывчатых веществ (ВВ). Завод строили военные строители под руково-

дством генерал-майора В. П. Иващенко. Он же стал и первым директором. 1916 год – пущен Горловский завод ВВ. 1917 год – Растяпинский (Дзержинский) гигантский завод ВВ и боеприпасов.

Чтобы понять сложности организации производства боеприпасов в военное время, обратимся к цифрам выпуска боеприпасов. Расход боеприпасов в Первую мировую войну составил в Германии 270 млн шт., во Франции – 190 млн шт., в России – примерно 50 млн шт. Во время Великой Отечественной войны в СССР было выпущено около 10 млн т.

Знакомясь с организацией производства боеприпасов в России, я понял, что Правительство России принимало до и во время Первой мировой войны решения, способствовавшие и победе СССР во время Великой Отечественной войны:

- образование Государственного комитета обороны 15 мая 1905 года, после Цусимы (председатель Великий князь Николай Николаевич);
- образование Ставки Верховного Главнокомандующего;
- образование Центральной военно-промышленной комиссии (председатель А. И. Гучков);
- создание комиссии по удушающим средствам – химическому оружию (председатель академик генерал В. Н. Ипатьев);
- привлечение Академии наук к вопросам обороны;
- привлечение военных строителей к строительству оборонных заводов;
- создание мобилизационных мощностей по выпуску боеприпасов в других отраслях промышленности;
- строительство сибирской железной дороги (включая КВЖД, как кратчайшего пути до Владивостока);
- строительство рокадных железных дорог;
- строительство порта Романов на Мурмане (будущий Мурманск);
- строительство железной дороги от порта Романов до Петрограда;
- эвакуация военной промышленности и специалистов западных районов России, на территориях которых возможны были военные действия (например, только из Прибалтики с 6 июня по 6 августа 1915 года было эвакуировано техники 15531 вагон и рабочих с семьями – в 2000 вагонах);
- командирование специалистов из армии и промышленности в оборонные отрасли;
- привлечение средств граждан на оборону путем размещения займов (были даже целевые народные займы, например, на строительство боевого флота России по I-й и II-й морским программам);
- введение карточной системы на хлеб;
- выдвижение лозунга, понятного всему народу “Все для армии, все для победы!” (выступление Родзянко М. В. на съезде промышленников, Петроград, 1915 год). Во время Великой Отечественной войны И. Сталин этот лозунг немного изменил – “Все для фронта, все для победы!”

Возникает интересный вопрос, в чьих головах хранилась эта информация и кто докладывал об этом Сталину. По-моему, одним из таких людей мог быть начальник Генерального штаба РККА маршал Шапошников.

Что можно добавить в этот перечень мероприятий после Великой Отечественной войны. По-видимому, следующее:

- разворачивание партизанского движения для террористических действий в тылу врага;
- освоение Северного морского пути;
- начало строительства железной дороги вдоль Северного побережья;
- массовое использование заключенных для строительных работ;
- организация работ заключенных конструкторов и ученых в интересах обороны;
- формирование в армии штрафных рот;
- организация заградительных отрядов на фронте;
- многократное дублирование способности выполнения боевых задач различными видами и родами войск.

Анализ информации, опубликованной главным образом в журнале “Военный парад”, позволяет утверждать, что ВНИИЭФ несколько лет проектирует обычные БЧ широкого профиля. Эти работы связаны как с увеличением традиционного могущества изделий, так и с приданием могуществу нового качества. Последнее означает многофакторность действия БЧ.

Однако выбор БЧ мог оказаться случайным в силу случайных контактов генеральных конструкторов изделий и специалистов ВНИИЭФ. В результате велика возможность реализации ситуации, когда с помощью специалистов ВНИИЭФ генеральные конструкторы осуществляли модернизацию изделий, пытаясь приостановить снятие их со снабжения.

Модернизация и снятие со снабжения изделий, серийное производство которых исчисляется тысячами, десятками и сотнями тысяч штук в год, проводятся в силу выполнения определенных директивных документов. Такими документами являются программа вооружения, определяющая номенклатуру всех боеприпасов, и связанный с этим план развития технологии и подготовки мощности производства, а также план соответствующих НИР и ОКР.

В условиях, когда генеральные конструкторы были обязаны загружать свои серийные заводы и заводы смежников работой, а директора заводов не могли, в силу отсутствия средств, развивать передовые технологии, возникающие противоречия между промышленностью и заказчиком часто решались в пользу промышленности. В 90-е годы это стало характерным для всего ВПК. Производство новых изделий встречало трудности, и поэтому промышленность годами выпускала старые изделия наряду с новыми. Это приводило к расширению номенклатуры изделий. Промышленность задыхалась.

Напомним основные принципы, положенные в основу модернизации, разработки новых, а также постановки и снятия со снабжения изделий:

1. Модернизация должна происходить в направлении дальнейшей разработки нового изделия.
2. Производство модернизированного изделия должно заменить производство исходного изделия.
3. Разработка и принятие на снабжение нового изделия должны привести к снятию со снабжения, как минимум, двух изделий.

4. Новое изделие должно содержать не менее 30 % старых и не более 70 % новых комплектующих элементов.

5. Новая БЧ должна быть пригодна для нескольких условий применения.

Л. И. Кочкин

О моей работе в отделе 09 (26, 0309) ИФВ

Свою трудовую деятельность я начал в 1953 году 10 сентября, когда был принят на работу в недавно созданный сектор 3. Само событие не представляет ничего особенного, но та обстановка, в которую я попал, и те замечательные люди, с которыми меня свела судьба, заслуживают, чтобы рассказать о них подробно.

Инспектор по кадрам Галина Сергеевна Мокеева повела меня в кабинет начальника сектора Василия Константиновича Боболева. За столом сидел солидный мужчина в салатовой тенниске. Мы поздоровались, и Василий Константинович расспросил меня, учусь ли, чем бы хотел заниматься. Я ответил, что перешел на второй курс вечернего института и хочу заниматься физикой. Тогда он, улыбаясь, спросил: “А какие ты знаешь направления в физике?” Я, заикаясь, стал перечислять: “Механика, ядерная физика, динамика...” Крякнув, он протянул: “О!” На этом у меня иссяк весь запас знаний о направлениях в физике. “А физика взрыва? Ты слышал про такую?” Я честно признался, что не слышал, хотя, что такое взрыв, я знал. Тогда он решительно сказал: “Будешь заниматься физикой взрыва”. Я в то время даже не представлял себе, что это такое – физика взрыва.

Определили меня препараторм в сектор к А. Д. Захаренкову. В нем я узнал знаменитого хоккеиста команды НИСа, за которую я болел. Первым делом он спросил, играю ли я в футбол. От неожиданности я растерялся, а опомнившись, ответил уклончиво. Потом он продолжал: “В хоккей играешь?” Ответ мой был отрицательным. Захаренков выразился круто о моих спортивных достижениях, чем поверг меня в состояние грусти. Я понял, что в отдел меня не возьмут, и о физике взрыва нужно забыть. Но вдруг Александр Дмитриевич снял трубку и сказал: “ВирСТИныч, зайди-ка ко мне!” Появился лохматый блондин. Захаренков промолвил: “Вот тебе препараторм!” ВирСТИныч (Виктор Константинович Орлов) познакомил меня с новыми коллегами, Б. С. Калашниковым и В. С. Кустовым, показал мое рабочее место. Затем достал пачку инструкций, дал мне и сказал: “Читай! Что не понятно, спрашивай у любого”. Так я начал свой первый трудовой день. В конце дня ВирСТИныч устроил мне экзамен: “Лев, а пилить ВВ можно?” Я, конечно, ответил, что нельзя. На что Виктор Константинович сказал: “Тротил пилить и дорабатывать можно”. Далее он спросил: “Если ты в лабораторном домике, где бетонный пол, уронишь на пол тротил, что произойдет?” – “Конечно, взрыв”, – ответил я. Орлов заулыбался и сказал: “Ничего не произойдет!” Так я узнал, что ВВ различаются по чувствительности к удару и другим физико-химическим свойствам.

До 1955 года я работал под руководством ВирСтиныча до его отъезда в НИИ-1011. Этот человек отличался огромной работоспособностью, требовательностью к себе и к нам, хотя был тоже молодым специалистом, недавно окончившим МИФИ. До поступления в институт он прошел войну, был артиллеристом, командовал “Катюшей”, закончил войну в Берлине.

В отделе 26 я проработал почти 50 лет. За это время было много интересного, были незабываемые счастливые минуты, но были и трагические. Я благодарен судьбе за встречи с замечательными людьми.

Однажды в нашей комнате раздался тихий стук в дверь и появился скромно одетый высокий человек. Поздоровался приветливо, представился и сказал: “Я узнал у вашего начальства, что вы занимаетесь внедрением в экспериментальную практику покадровой съемки (лупы времени)”, – при этом он смотрел на В. С. Кустова и беседовал с ним как со знакомым. Далее он сказал, что его интересует время жизни полусферического свинцового слоя в условиях воздействия взрыва ВВ. Виктор Сергеевич подошел к доске и начал рисовать возможную схему постановки опыта, сопровождая рисунок комментариями. Собеседник согласно кивал головой и изредка задавал вопросы. Затем он спросил: “А как быстро вы сможете провести этот опыт?” Кустов ответил: “Дня через два!” Было это в 1953 году. В то далекое время в штате отдела была своя механическая мастерская, где работали высококвалифицированные мастера – механики А. В. Болотов и А. Х. Шинкевич. Опыт был проведен. Как потом оказалось при газодинамической отработке заряда РДС-37, по-видимому, это был первый разведочный опыт. После того, как собеседник ушел, я спросил у Виктора Сергеевича, что это за человек был у нас. “Это Сахаров, теоретик, он надоел нам с Елкиным. Ходит к нам в номер слушать “Голос Америки”. (У В. С. Кустова был радиоприемник, один из лучших по тем временам – “Балтика”).

Так я впервые увидел А. Д. Сахарова, одного из лучших ученых СССР, будущего академика и трижды Героя Социалистического Труда.

Сотрудники отдела: В. С. Кустов, Б. С. Калашников, А. Г. Иванов за активное участие в работах по отработке РДС-37 были отмечены орденами Трудового Красного Знамени. Их вклад в решение данного вопроса был достаточно высок. Автор этих строк также много лет, начиная с дипломной работы и кончая кандидатской диссертацией, успешно работал в этом направлении, и перед уходом на пенсию был начальником лаборатории отдела 09. За время работы было сделано много полезного как в экспериментальной практике, так и во внедрении в эксперимент новых приемов и методов регистрации взрывных процессов.

Был внедрен в практику исследований электродинамический затвор в приборы СФР для отсечки послесвечения. Этот затвор, разработанный Ю. В. Лисицыным и В. В. Пермяковым, позволил значительно повысить качество снимков, их разрешающую способность. Особо хочется отметить и работы автора по внедрению в практику исследований цветной регистрации взрыва и применение аргоновых подсветок, что позволяло регистрировать более сложные процессы, протекающие при взрыве. Например, появление и распространение трещин, прохождение детонации по каналам и т. п.

В 1959 году автор впервые получил цветные кадры, характеризующие процесс разлета и разрушения кожуха над областью розетки электродетонатора.

Многие годы я занимался исследованием разрушения и разлета зарядов, а также вопросами взаимодействия продуктов разлета изделий с элементами защиты автоматики и систем контроля. В этот период мной лично, а также в группе с коллегами под руководством А. Г. Иванова была проведена большая серия наземных испытаний различных изделий. В этих опытах моей главной задачей являлось обоснование надежной защиты различных систем от преждевременного разрушения, что гарантировало штатное срабатывание зарядов.

За цикл проведенных исследований по защите аппаратуры в процессе срабатывания атомных зарядов различных габаритов и назначений, в 1983 году автор был удостоен Государственной премии СССР.

Л. И. Кочкин

Курьезные случаи в серьезной работе

В начале 60-х годов, когда появились первые статьи о получении алмазов с помощью взрыва, в отдел к В. С. Кустову и Б. С. Калашникову пришел В. Н. Родигин – ученый секретарь ученого совета КБ-11. Он сообщил, что Ю. Б. Харитон заинтересовался этим вопросом и просил помочь в подготовке и проведении опыта. Все вопросы материального обеспечения и доставки необходимых материалов на площадку он брал на себя. Виктору Сергеевичу и Борису Сергеевичу ничего не оставалось, как согласиться, тем более что об этом просил сам Харитон. Но они еще не знали о масштабах этого чуда. На заводе № 1 собрали весь имеющийся чугунок и пустили в литейку. Отлили толстостенную громадную ступу, внутри которой сферическую полость заполнили графитом. Причем графит был доставлен из Индонезии благодаря помощи Министерства иностранных дел. Узнав об этом, все прониклись уважением к Родигину и с энтузиазмом принялись за подготовку опыта. На площадке № 3 экскаватором вырыли громадную яму, поставили в нее краном ступу с графитом и стали ждать машину с ВВ. Вскоре пришла машина, груженная мешками с тротилом. Наша задача была разгрузить машину с тротилом, поставить на тротил несколько дополнительных детонаторов из ТГ 50/50 с КД, затем аккуратно засыпать свободное пространство землей и подорвать. Все было сделано по указанию Родигина. Точно к концу рабочего дня мы все укрылись в каземате. Впечатление от подрыва двух с лишним тонн ВВ было впечатляющим. Но еще более впечатляющей была картина, открывшаяся нам после взрыва. Огромная воронка, по краям которой валялись здоровенные куски чугуна, но следов алмазов, как ни старались, мы не нашли. Так бесславно закончилась эта научная попытка получения алмазов. Я уж не знаю, как объяснялся Родигин с Юлием Борисовичем, и знал ли тот о нашем опыте, но с легкой руки Виктора Сергеевича В. Н. Родигин получил в отделе прозвище Казимира Алмазова.

Еще об одном курьезном случае, произошедшем в нашем отделе с уважаемым Борисом Сергеевичем Калашниковым в начале его трудовой деятельности, мне хочется рассказать.

К нему как-то пришел А. Д. Захаренков и сказал: “Как выпускнику МЭИ им. Молотова тебе поручается разработать конструкторскую документацию на подставку под высоковольтную установку”.

Спустя некоторое время КД на подставку была разработана с учетом электротехнических правил и положений и заказана заводу. Подошел срок получения готового изделия. Как водится, заказали грузовик для вывоза и доставки его на площадку. Для этой цели Захаренков выделил группу из четырех человек, которая приехала в цех завода. Когда мастер цеха узнал, зачем приехала группа, физиономия у него сначала вытянулась, а потом появилась ехидная улыбка. Он недоверчиво спросил: “Вы что, серьезно все приехали за одной подставкой?” Получив подтверждение, повел всех к себе в кабинет, где на столе стояла миниатюрная блестящая подставочка, при этом он подтвердил, что все сделано в соответствии с КД. Сконфуженные, мы взяли подставку и пошли в отдел. В кабинете Александра Дмитриевича показали ему подставку, стоим и ждем дальнейших указаний. Захаренков сразу понял, в чем дело, и сказал фразу, которую я запомнил на всю жизнь: “Запомните, друзья, в сантиметрах работают только портные и теоретики”. И это, действительно, оказалось так. При общении с теоретиками это всегда подтверждалось.

Л. И. Кочкин

Два ЧП

В 1954 году на площадке № 3 произошло первое ЧП при проведении полусферического опыта. Сборка представляла из себя полусферу из ВВ, внутри которой на некотором радиусе располагалась оболочка из урана-238. На наружную поверхность полусферы наклеивались так называемые приставные элементы, “рога”, тоже из ВВ, для обеспечения сферически сходящейся детонационной волны. Такая конструкция заряда обладала мощным кумулятивным действием. Мы это, конечно, знали. Участниками опыта были я и лаборант отдела Чеканов А. И. Руководил нами самый опытный взрывник отдела Юра Тимофеев. Надо отметить, что дело происходило зимой. После опыта мы, исполняя инструкцию, пошли осматривать место подрыва. Придя на точку, увидели в мерзлой земле аккуратное отверстие диаметром 8-10 см. Присели вокруг него на корточки и услышали звуки кипящего мощного котла. У нас сразу возникла бредовая идея – измерить глубину отверстия. Я, как самый младший по чину и по возрасту, был отправлен за куском кабеля. Тимофеев склонился над отверстием и стал опускать кабель. Мы с Чекановым стояли рядом и помогали ему. Опустив кабель примерно на 1 метр, мы вдруг услышали глухой взрыв и вслед за ним человеческий вопль. Увидели на земле кричащего Юрия, который держался за окровавленное лицо. Один из нас по-

бежал к телефону и вызвал скорую помощь. Доложили о случившемся А. Д. Захаренкову. Он немедленно приехал, во всем разобрался и сказал, что нужно доработать инструкцию по работе с ураном на площадке. В инструкцию были внесены существенные изменения, касающиеся времени выхода из каземата после взрыва; количества персонала, имеющего право осмотра места подрыва, и другие организационные вопросы.

Нас же Александр Дмитриевич предупредил, чтобы мы не проговорились Тамаре Тимофеевой – жене Юры – о ЧП, а сказали бы, что во время работы на площадке у Юры случился приступ аппендицита и его отправили в больницу, на Маслиху, посещать его сегодня не нужно, так как он прооперирован. На другой день на Маслихе мы встретили Тамару Тимофееву, она узнала обо всем от самого Юры, который частично потерял зрение и получил ожог кожи лица.

Еще одно ЧП случилось в 1967 году со мной во время проведения опыта, с использованием метода импульсного рентгенографирования с одним из новых в то время изделий, зарядом “системы ВК”.

Опыт проводили в помещении, принадлежавшем седьмому отделу. Начальник отдела Тарасов Д. М. дал официальное разрешение и выделил двоих сотрудников: ответственного за генератор импульсных напряжений (ГИН) А. Моторнова и фотолаборантку П. Логинову. Из нашего отдела в эксперименте участвовали тоже два сотрудника: ответственный за опыт взрывник Л. И. Кочкин и помощник взрывника, лаборант С. Миронов. Следует отметить, что ГИН, с помощью которого мы проводили опыт, имел специфическую особенность – заглубленность высоковольтного генератора примерно на половину высоты. Это было сделано для повышения энергии излучения, так как необходимо было вписаться в габариты каземата. Необходимая техника управления генератором располагалась вокруг, в подземной части каземата.

Вся работа шла штатно: монтаж сборки, выставление ее на поле, съемка сборки до взрыва, проявление... Судя по снимку до взрыва, в пучок попали, но выставили сборку не идеально и решили сделать еще один предварительный. Сделали, проявили. Вот теперь можно работать! Мы вошли с Моторновым в каземат и остолбенели... Наш ГИН пылал как новогодняя елка. Первое что мы сделали – убрали в безопасное место ВВ и КД. Затем сделали попытку добраться до горящего ГИНа в подземную часть каземата, где на стене висели огнетушители. Но наша попытка оказалась безрезультатной, мы не смогли туда пробраться. Вызвали пожарную команду, которая вскоре появилась. Но тушить горящую электроустановку водой было нельзя, а спецсредств не было, и нам ничего не оставалось, как смотреть сверху на нашу горящую установку. Вскоре ГИН рухнул и все нижнее пространство заполнилось горящими конденсаторами и оргстеклом. Я вышел на свежий воздух, сел на откос каземата и задумался о причинах, приведших к трагическому концу. От грустных мыслей меня отвлек знакомый голос Д. М. Тарасова: “Ну, что, Кочкин, погорел, как швед под Полтавой? Давайте я развезу вас по домам, а разбираться во всем будем завтра!”

На следующий день Диодор Михайлович собрал совещание специалистов, на котором рассматривался вопрос о причинах возгорания ГИНа и мерах предотвращения подобных случаев. Обстоятельства случившегося были вы-

явлены довольно быстро: так как возгорание ГИНа произошло приблизительно в средней части, то его причиной, по всей вероятности, явилось масло, вытекшее из конденсатора при его пробое и попавшее в разрядную дугу. Наша ошибка заключалась в том, что после первого импульса мы не зашли в отсек с ГИном проверить его состояние, а сразу сделали второй импульс. На совещании было решено внести изменения в инструкцию по работе с установкой.

Но на этом дело не кончилось. Возникли вопросы у КГБ. Меня вызывали и задавали много нелицеприятных вопросов, все они сводились к одному – не сознательно ли я поджег ГИН в разгар экспериментальных работ над новым изделием, тем самым сорвав их. Пришлось выпускать справку-обоснование “О причинах возгорания ГИНа в 4-м каземате на площадке № 2”. Так закончилась эта печальная история.

А. Г. Иванов

Емкостной датчик

В начале 50-х годов основной задачей отдела 26 являлась разработка, модернизация и использование фотохронографического метода измерения асимметрии сферических оболочек на полномасштабных блоках при отработке атомных зарядов. Но уже в 1953 году начальник отдела А. Д. Захаренков перед группой прибористов поставил задачу научиться измерять и динамические характеристики таких блоков.

В отделе в то время имелось всего два осциллографа ОК-17м с линейной разверткой. Первая попытка таких измерений была предпринята нами в фотохронографическом опыте. На измерительном фонаре с базой ~2 мм было расположено вдоль одной прямой 4 контакта, удаленных друг от друга на несколько сантиметров, чтобы не мешать основным фотохронографическим измерениям. И хотя мы были удовлетворены записью зарегистрированных сигналов, конечный результат измерений был далек от ожидаемого. Эта неудачная попытка не обескуражила нас. Она явилась следствием малого количества контактов, расположенных вдали друг от друга, и малой величины измерительной базы. Необходима была разработка специальных измерительных узлов с большим количеством независимых измерительных цепей и специальные динамические опыты. В плане на IV квартал 1953 года Захаренков записал нашей группе:

- а) методические опыты по измерению скоростей на сферических зарядах 24 – 02 (рога) с оболочками из Fe (4 %, 2 %, 1 % в пересчете на продукт “71”);
- б) разработка метода непрерывной регистрации движения пластин;
- в) подготовка к измерениям зарядов 19 – 200 (блоки 11, 19 – 200).

Все это со временем было осуществлено.

Чтобы отдел не остался без современных осциллографов, в феврале 1954 года меня командировали в г. Вильнюс для приемки новых осциллографов со спиральной разверткой, если не изменяет мне память, ИВ-19. Интересно от-

метить, что много позже, в 1993 году, в Америке, в музее ядерного оружия Сандийской национальной лаборатории я увидел измерительную головку, как две капли воды похожую на нашу! Как у нас, так и там вместо мгновенной скорости сходящейся к центру оболочки на заданном радиусе, измерялся интервал времени пролета оболочкой между двумя заданными радиусами. Это позволяло рассчитывать с некоторой погрешностью искомую величину. Возникал вопрос, нельзя ли измерять мгновенные скорости*.

Проанализировав однажды дифференциальное уравнение цепи емкости с одной подвижной обкладкой, я понял, что такая схема при выполнении определенных требований к параметрам цепи может измерять не только заданный интервал времени движения обкладки (что было известно ранее), но и мгновенное значение скорости обкладки в процессе ее движения. В первом же плоском опыте, проведенном уже летом 1954 года, при записи начальной скорости движения пластины под действием взрыва заряда ВВ, на фоне высокочастотных помех от высокого напряжения, подаваемого на подрыв капсюля-детонатора, удалось записать ожидаемый сигнал.

В это время Л. В. Альтшулер читал для сотрудников сектора курс лекций по поведению материалов при их ударном сжатии. Заинтересовал меня такой эффект: если интенсивность ударной волны, распространяющейся по металлу не слишком высока, то впереди ее должна распространяться с несколько большей скоростью упругая волна, за фронтом которой в следующей волне материал переходит в пластическое состояние. Под действием упругой волны свободная поверхность металла до выхода основной, более сильной волны сместится на доли миллиметра, но скачок скорости ее на осциллографе может быть измерен! Незадолго до этого я ознакомился с американской работой, в которой эту разницу скоростей, вернее смещение поверхности, измеряли обычным способом посредством большого количества прецизионно установленных контактов с постепенно увеличивающимся зазором.

В марте 1955 года было принято решение о выделении из КБ-11 дочернего предприятия НИИ-1011 (г. Снежинск). Фактический состав творческих сотрудников КБ-11 в связи с этим уменьшился в два раза. Через некоторое время началось пополнение штата за счет молодых специалистов, окончивших вузы Москвы, Ленинграда и других городов, в том числе окончивших наше городское вечернее отделение МИФИ. Новые сотрудники (Л. В. Васильев, С. А. Новиков, И. И. Дивнов, В. А. Сеницын, Ю. И. Тарасов) с помощью метода емкостного датчика начали исследования структуры ударных волн сжатия, откольных явлений. С использованием этого метода, по существу, впервые удалось зарегистрировать скачкообразный разгон материалов, ранее предсказываемый теоретически, и т. п. Результаты этих исследований позже были опубликованы в “Журнале экспериментальной и теоретической физики”, журнале “Физика твердого тела, физика металлов и материаловедение”.

* Как пишет мой коллега А. Г. Олейник в книге “Три задачи академика Сахарова” (Троицк: Тровант, 2004), к идее этого датчика мы пришли с ним одновременно. Он уступил мне это поле деятельности.

Заметим, что аналогичный метод регистрации мгновенных скоростей независимо был опубликован в США. И хотя их публикация (M. N. Rice // The Review of Sci. Inst. Vol. 32, № 4. P. 441) появилась ранее в печати, в 1961 году, факт независимости легко устанавливается по дате поступления нашей рукописи в редакцию (4 мая 1961 года). Ее задержка была вызвана требованием редакции сократить объем статьи и результаты исследований этим методом выделить в самостоятельную публикацию.

Рукопись статьи, помимо основного содержания и приложения о влиянии гармонической асинхронности движения обкладки конденсатора на точность измерения, содержала и большой фактический материал измерений (А. Г. Иванов, С. А. Новиков. Метод емкостного датчика для регистрации мгновенной скорости движущейся поверхности // Приборы и техника эксперимента. 1963, № 1. С. 135).

Следует отметить, что позже (в 1970 году) с участием Б. Ф. Рождественского был разработан аналогичный многоканальный датчик регистрации скорости сферически сходящейся оболочки, разработана и опробована аппаратура таких измерений.

Позже этот метод измерений начал широко применяться в различных экспериментах с использованием современных регистраторов и элементной базы.

Главной задачей при использовании емкостной методики на внутренних полигонах было получить чистую регистрацию сигнала с емкостного датчика в момент срабатывания высоковольтного подрывного генератора. Экспериментаторы избавлялись от наводок экранированием сборки, повышением до 1 кВ напряжения на датчике для увеличения амплитуды сигнала. Но самым эффективным способом борьбы с наводками оказалась взрывная задержка срабатывания заряда с помощью детонационного шнура.

Наибольшее применение во ВНИИЭФ емкостная методика нашла в исследованиях свойств конструкционных материалов с помощью баллистической ударной трубы БУТ-76, введенной в эксплуатацию в 1974 году.

Лабораторные условия испытательного комплекса БУТ-76 идеально сочетались с требованиями емкостной методики: отсутствие электромагнитных наводок, вакуумированная среда испытания, малая неплоскостность соударяемых поверхностей мишени и ударника, широкий диапазон скоростей ударника в пределах от 5 до 850 м/с.

На БУТ-76 проведены сотни опытов по исследованию динамической прочности самых различных конструкционных материалов на высоком инженерном уровне. Исследованы разные марки сталей, медные и алюминиевые сплавы, а также композитные и пористые материалы, такие, как стеклопластик с намоткой в различных направлениях, керамика, шамот корунд, пористая медь и др. Результаты многих исследований опубликованы в работах, перечисленных в конце очерка.

С 1996 года В. И. Лучинин начал использовать цифровые осциллографы и компьютер, что в значительной степени ускорило получение результатов измерений с помощью емкостной методики. Вместо нескольких дней, результаты исследований получались через 10 мин после проведения опыта. Вместе с этим повысилась и точность емкостной методики.

В 2004 году методика емкостного датчика (МЕД-2004) была аттестована. Относительная погрешность измерения скорости свободной поверхности не превышает 6,2 % при доверительной вероятности 0,95.

Список публикаций с результатами исследований

1. А. Г. Иванов, М. А. Сырунин, В. И. Лучинин. Ударно-волновое разрушение намоточного стеклопластика в различных направлениях // Прикладная механика и техническая физика. 1991, № 4, с. 157–161.

2. В. А. Огородников, А. Г. Иванов, В. И. Лучинин, А. А. Хохлов, А. П. Цой. О природе масштабного эффекта при высокоскоростном разрушении (отколе) // Физика горения и взрыва. 1993, т. 29, № 6, с. 88–93.

3. В. А. Огородников, В. И. Лучинин, Е. С. Тюнькин, В. А. Григорьев, А. П. Цой. О поведении композитных материалов при высокоскоростном растяжении (отколе) // Химическая физика. 1993, т. 12, № 2, с. 178–179.

4. А. Г. Иванов, М. А. Сырунин, А. Г. Федоренко. Откольная прочность намотанного стеклопластика в трех главных направлениях // Проблемы прочности. 1993, № 1, с. 129–132.

5. В. А. Огородников, А. Г. Иванов, В. И. Лучинин, А. А. Хохлов, А. П. Цой. Влияние масштабного и технологического факторов и предварительной деформации на высокоскоростное разрушение (откол) титанового сплава ПТ-3В и стали 12Х18Н10Т // Физика горения и взрыва. 1995, т. 31, № 6, с. 130–139.

6. В. А. Огородников, А. Г. Иванов, В. И. Лучинин, А. А. Хохлов, А. П. Цой. Масштабный эффект при динамическом разрушении (отколе) хрупких и вязких материалов // Физика горения и взрыва. 1999, т. 35, № 1, с. 108–114.

7. В. А. Огородников, А. Г. Иванов, В. И. Лучинин и др. Ударно-волновое деформирование и разрушение диоксидноциркониевой керамики и бетона // Атомная энергия. 2000, т. 88, вып. 2, с. 113–119.

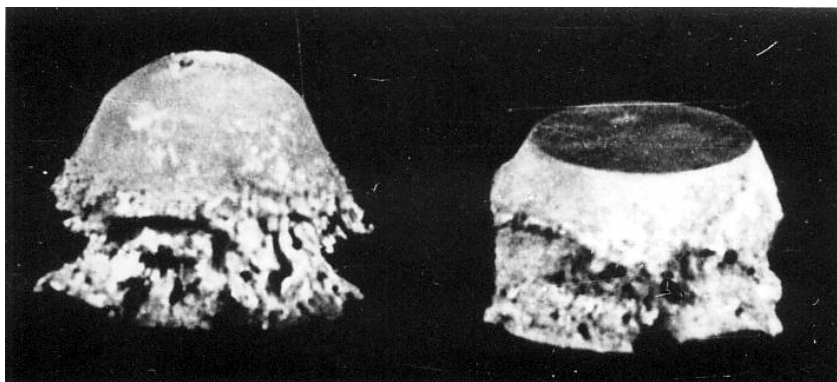
8. В. А. Огородников, В. И. Лучинин, С. В. Ерунов, О. А. Есин и др. Влияние ударно-волнового нагружения на свойства криогенного никелида титана – сплава с эффектом памяти формы // Прикладная механика и техническая физика. 2001, т. 42, № 3.

А. Г. Иванов

Ударные волны разрежения. Первый академик ИФВ

В конце 50-х годов в опытах, проведенных совместно с С. А. Новиковым, при исследовании методом емкостного датчика упругопластических характеристик стали 3 были обнаружены осколки с необычайно гладкими боковыми поверхностями. В аналогичной постановке опыты с другими металлами таких

осколков не образовывали. Повторные опыты с цилиндрическими образцами из этой же стали меньшей высоты образовывали аналогичный центральный осколок, но со срезанной верхней частью, как показано на фотографии. Образование гладких поверхностей на этом металле убеждало нас, что этот эффект вызван взаимодействием волн разрежения. Попытки заинтересовать некоторых наших теоретиков возможностью разгадать природу этого явления не дали результатов.



Необычные осколки с гладкими боковыми поверхностями

Однажды будучи у Ю. Б. Харитона, я прихватил с собой один из таких осколков. Ю. Б. с подозрением начал расспрашивать, не работал ли над ним токарный станок. Подошедший в это время Я. Б. Зельдович, расспросив о постановке опыта, сразу определил, что это результат взаимодействия **ударных волн** разрежения, и потребовал, чтобы срочно была написана заметка в ЖЭТФ, что и было сделано.

Я. Б. Зельдович в 1946 году показал, что, если у материала адиабата Пуассона на некотором участке имеет обратный, по сравнению с обычной, знак вогнутости, для построения волн разрежения в этой области необходимо ввести скачок разрежения, в то время как скачок сжатия невозможен. В 1956 году английские исследователи обнаружили излом кривой ударной сжимаемости в железе при давлении фазового ($\alpha \rightarrow \gamma$) перехода в 132 тысячи атмосфер, что является предельным случаем аномального участка адиабаты Пуассона. В 1957 году на принципиальную возможность образования скачка разрежения в железе указывал и В. Ф. Друмонд. Прделанный позже Ю. И. Тарасовым расчет столкновения скачков разрежения подтвердил предположение о природе появления гладких отколов, что явилось доказательством существования **ударных волн** разрежения (А. Г. Иванов, С. А. Новиков // ЖЭТФ, 1961, т. 40, вып. 6, с. 1879).

Одновременно с нашей публикацией появилась статья с аналогичными результатами американских исследователей (J. D. Erkman // J. of Appl. Phys. 1961, Vol. 32, № 5).

В конце 70-х годов в АН СССР помимо изобретений стали регистрировать и открытия. Ознакомившись с требованиями, которым должны соответ-

ствовать материалы, претендующие на статус “открытия”, решили с Новиковым, что исследования **ударных волн** разрежения соответствуют им. Так как теория этого явления была предсказана Зельдовичем, решили пригласить его стать соавтором. Вскоре на наше письмо (июнь 1978 года) получили ответ.

“Дорогой Анатолий Григорьевич!

Ваше открытие пойдет через отделение механики. По печальному своему опыту я знаю, что в этом отделении моя фамилия подействует... как красная тряпка на быка, пойдет гнуснейшая кампания и т. д.

Оформляйте без меня. В конце концов, я имел в виду газы и совершенно не имел в виду разгрузку твердых тел, эффекты прочности и т. д. К тому же мои работы опубликованы гораздо раньше Ваших – включение работ более чем 30-летний давности тоже нежелательно.

Итак! Получайте открытие без меня, и, когда получите, если захотите, то, давая интервью для прессы, упомяните связь со старыми моими работами. Позовите меня на пропитие. Действуйте со спокойной совестью.

Вспоминаю «минувшие дни» с удовольствием – была своя прелесть, которую тогда я не полностью понимал.

Привет всем коллегам, товарищам, друзьям!

Искренне Ваш. Зельдович”.

Получив такой ответ от Якова Борисовича на наше предложение, мы оформили заявку на открытие от двух соавторов в 1978 году и отправили ее в комитет по изобретениям и открытиям при АН СССР, где она была зарегистрирована (№ ОТ – 10012).

Спустя время, а именно в 1984 году по нашей просьбе от имени научного руководителя Ю. Б. Харитона в комитет по открытиям был направлен запрос о причинах задержки рассмотрения нашей заявки. Получили ответ примерно следующего содержания. В комитет после нашей заявки поступила аналогичная заявка на открытие **ударных волн** разрежения, но в жидких средах. Среди шести соавторов второй заявки фигурировала фамилия Я. Б. Зельдовича. Приоритет по времени принадлежит нашей заявке, но если мы согласны объединить обе заявки, то это ускорит их рассмотрение.

Чтобы понять позицию Я. Б. Зельдовича, решил посоветоваться с Ю. Б. Харитоном. Последний, прочитав его отказное письмо, стал звонить в столицу, где Яков Борисович работал в это время. Закончив разговор, Юлий Борисович объяснил мне, что наша заявка должна была проходить через комитет по механике, а вторая заявка из академгородка Новосибирска должна проходить через комитет, возглавляемый академиком С. С. Кутателадзе. Он же числился одним из соавторов их заявки. Поняв эти тонкости, я поинтересовался: “Что, и на этом уровне интриги?” – “А как Вы думали?” – услышал в ответ.

Посоветовавшись с С. А. Новиковым, решили согласиться на объединение. Соавторов теперь стало 8! Эпопея с открытием подходила к завершению.

Председатель комитета по открытиям при Государственном комитете АН СССР по науке и технике подписал дипломы № 321 от 18.06.90 и вручил их соавторам открытия “Явление образования ударных волн разрежения”. Это открытие было первым, выполненным сотрудниками ВНИИЭФ.

Отметим, что используя ударные волны разрежения, впервые было показано, что при разрушении меди и стали напряжения откола возрастают более чем в 2 раза при уменьшении интервалов времени действия растягивающих напряжений с 10^{-6} до $5 \cdot 10^{-8}$ с. (Ю. И. Тарасов // ДАН СССР, 1965, т. 165, № 2, с. 323). Было установлено также, что взрывное разрушение массивных стержней из Стали 3 при действии ударных волн разрежения позволяет резко сократить расход ВВ (С. А. Новиков, А. И. Абакумов и др. // Вопросы атомной науки и техники. Теоретическая и прикладная физика. 1996, вып. 1–2, с. 69).

Таким образом, с уменьшением времени действия растягивающих напряжений их амплитуда разрушения возрастала, а удельная работа отрыва падала. Систематические исследования откольного разрушения на геометрически подобных сборках разного масштаба подтвердили эти выводы и количественно установили зависимости для ряда материалов (В. А. Огородников, А. Г. Иванов // Физика горения и взрыва. 2001, т. 37, № 1, с. 133).

В армии за 5 лет войны и последующей службы (1942–1947 годы) я не вышел в генералы. Максимум до чего дослужился, до одной широкой лычки на погонах – старший сержант. После демобилизации до поступления на физико-технический факультет МГУ, 2–3 месяца работал лаборантом в отделе горения Института химической физики АН СССР. Этот отдел возглавлял Я. Б. Зельдович. На “объект” молодым специалистом прибыл я в июне 1953 года. Направили меня в отдел 26 сектора 3 (будущего ИФВ). Почему бы не попытаться выйти в генералы в науке? Так, проработав 2 года в отделе А. Д. Захаренкова, когда шла отработка РДС-37, получил орден Трудового Красного Знамени! А спустя еще 3 года стал исполняющим обязанности начальника отдела 26! Неплохо. Прошло девять лет работы, и я был отмечен Ленинской премией, которую присуждают за высшие достижения в науке только один раз! Спустя одиннадцать лет после начала работы защитился, стал кандидатом физико-математических наук, вторым голосованием присвоили мне ученую степень доктора технических наук. Моими оппонентами были Л. В. Альтшулер, Е. А. Негин и Д. А. Фишман.

Вечером, после защиты, в генеральской столовой обмывали 16-го по счету во ВНИИЭФ новоиспеченного доктора.

Решением высшей аттестационной комиссии в 1977 году я стал 7-м профессором во ВНИИЭФ. (Ну, как тут не вспомнить классика: “Иванов хоть ты и седьмой, а дурак!”) Вскоре был удостоен и почетного звания “Заслуженный деятель науки и техники РСФСР”.

Ну что ж, недалеко и до генерала!

Дважды, в 1981 и 1984 годах, научно-технический совет ВНИИЭФ выдвигал меня в члены-корреспонденты АН СССР. Обстоятельства сложились так, что я не смог тогда поехать в столицу, в АН СССР, чтобы ознакомиться хотя бы с “кухней” этих выборов. Претендентов на вакантные места оказывалось, как правило, во много раз больше, чем вакантных мест. Оба захода оказались неудачными. Мое третье выдвижение в члены-корреспонденты АН СССР состоялось в 1990 году. Вместе со мной на этот заход, но по другому отделению, был выдвинут и глубокоуважаемый мной Д. А. Фишман. На этот раз мы вместе окунулись в предвыборную кухню. Первое впечатление

было, что это лотерея. Выяснить, какие факторы здесь являются решающими, какие параметры претендентов предпочтительнее, и одни и те же ли они для всех соискателей, – этого понять нам не удалось. Фактически, конечно, не последнюю, если не первую, роль играли здесь подковерные действия претендентов и их покровителей. Что еще было не в нашу пользу, так это закрытость основных наших работ.



Л. И. Лебедев с супругой, А. И. Чеканов, А. Г. Иванов, И. Е. Максимов с супругой Е. В. Савинова, а он стоит с моей половиной – Галей

Выход в член-коры вновь не состоялся.

В стране начали бурно развиваться события, которые привели к распаду СССР, бандитскому переходу к капитализму, разграблению страны, обнищанию народа.

Ярким подтверждением такой оценки событий того времени являются ваучеры Чубайса, прибыль по которым через год, как он обещал простым смертным, будет равна стоимости двух автомашин “Волга”! Попытка государственного переворота (21.08.91), Беловежское соглашение (08.12.91) и сложение полномочий президентом Горбачевым (25.12.91) – вехи того времени.

Началось бурное переименование школ в гимназии, домов пионеров в дворцы пионеров, учебных институтов в университеты и создание, помимо традиционной Академии наук СССР, превратившуюся в Российскую АН (РАН), узкоспециализированных академий. Начался и бурный рост числа академиков. Так, однажды просматривая газеты узнал, что образуется Российская академия **естественных** наук (РАЕН). Попробуй догадайся, в чем отличие РАЕН от РАН и где “бессмертные” академики пребывают. Но что особенно подкупало в описании РАЕН, так это то, что там можно сразу стать академиком, если ты имеешь диплом на открытие! Поистине чувствовалась отеческая забота о людях, отверженных РАН, даже в попытке попасть не в академики, а только в член-коры! Ознакомил я с этой публикацией и своего соавтора по

открытию, к этому времени ставшего уже доктором наук, начальником самостоятельного отдела, С. А. Новикова.

Решили двинуть в академики. Написали на себя характеристики и другие необходимые бумаги, которые не требовалось с кем-либо согласовывать, и, чтобы не затерялись они почтой, С. А. Новиков выразил желание лично их отвезти в РАЕН. Спустя несколько дней возвратился сияющий Станислав Александрович и с некоторым смущением сообщил мне, что он стал академиком РАЕН. Поздравил его. Мою кандидатуру почему-то отклонили. Не подошел по каким-то параметрам. То ли уже стар стал, то ли потому, что я (как выражался Л. В. Альтшулер) “вошь беспартийная”. Вот так! Не идти же вторым заходом или качать права! Сделал вывод, что своего потолка я уже достиг. Не стоит больше трепыхаться. Тем более, что РАЕН в “бессмертные”, в отличие от французской Академии наук, своих академиков не причисляет.

А. Г. Иванов

Трепетать!

В исследовательских поисках решения той или иной задачи, как правило, наступает прорыв, отыскивается наиболее оптимальный путь решения ее. В поисках решения о ТЯ оружии таким прорывом явилось создание заряда РДС-37. Вслед за его успешным испытанием в 1955 году были развернуты широкие газодинамические исследования создания модернизированных зарядов этого класса, предложенных Ю. А. Трутневым и Ю. Н. Бабаевым.

Предварительные исследования на модельных сборках, проведенные после работ по симметризации внешнего разлета фокусирующего слоя атомных зарядов, давали основания надеяться, что отражающий слой кожуха сохранит свою целостность до необходимого интервала времени, отсчитанного от момента инициирования атомного заряда.

Следует отметить, что в этот период главным методом исследований являлся метод высокоскоростной фотографии в режиме лупы времени с заданной частотой смены кадров. Появление свечения в некоторых точках и развитие его во времени на внешней поверхности кожуха несло необходимую информацию.

Как правило, завершающие газодинамические натурные опыты проводились перед отправлением боевого заряда на полигон. Перед этим проводилась серия модельных опытов над наиболее напряженными участками конструкции. В модельных опытах при необходимости проводились опыты и методом импульсной рентгенографии. Так, в качестве примера на рис. 1 приведены рентгенограммы стыка двух плоских моделей фокусирующих элементов.

В верхней его части пунктиром изображено центральное сечение стыка двух сферических фокусирующих элементов, а сплошной линией – их плоские модели. Штриховкой отмечены элементы из ВВ, которые инициируются с двух сторон капсюлями-детонаторами (КД). Сверху на макете располагалась

пластина, имитирующая корпус заряда, а поверхности ВВ покрывались медной фольгой для получения контрастной границы продуктов взрыва (ПВ) на снимке. На рентгенограмме (рис. 1, б) отчетливо зафиксированы изображения фронтов отражения ПВ после их столкновения 1 и волны сжатия, сопровождающие детонационные фронты от мест инициирования ВВ 2. Снимок этот сделан до момента полного обжатия инертного материала под пластиной корпуса.

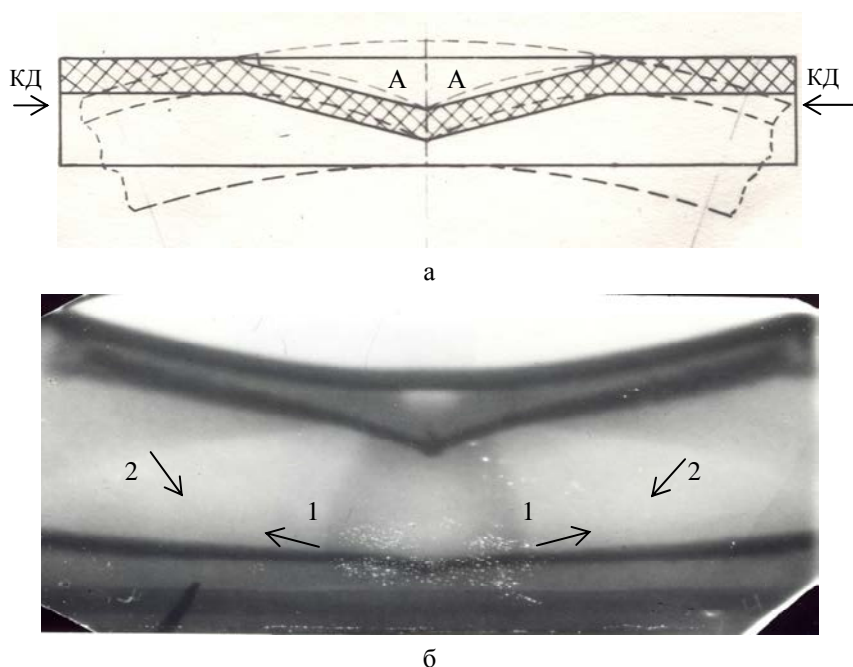


Рис. 1. Схема проведения опыта (а) и рентгенограмма начального процесса взаимодействия ударных волн в материале (б)

На других снимках, сделанных позднее (рис. 2), видно влияние свойств материала, заполняющего области “А”, на характер струеобразования из стыка двух элементов: от образования факела из раздробленного корпуса (слева) до образования остронаправленной кумулятивной струи (справа).

По совокупности результатов исследований считалось, что и в зачетном газодинамическом опыте с натурным блоком все будет *о'кей*. Как правило, такой опыт должен проводиться перед отправкой изделия на государственные испытания, на внешний полигон. Однако бывало и так, что по ряду обстоятельств зачетный газодинамический опыт приходилось проводить после отправления разрабатываемого ТЯ заряда на полигон. В одном из таких случаев после проведения газодинамического зачетного опыта было зафиксировано преждевременное появление свечения в некоторых областях, что могло свидетельствовать о локальных пробоях кожуха. На “ковер” к Ю. Б. Харитону я пришел с В. С. Кустовым, активным участником отработки этого ТЯ заряда. Помимо Ю. Б., в разговоре принимали участие Б. Г. Музруков и А. Д. Сахаров.

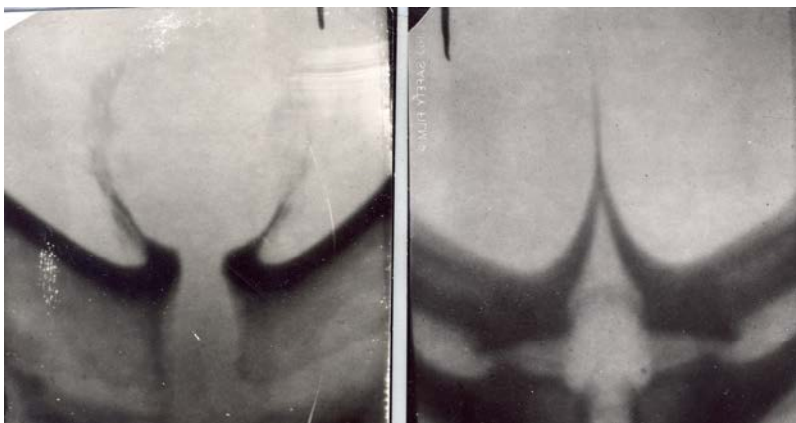


Рис. 2. Рентгенограммы более позднего момента времени, чем на рис. 1

Стоя у доски, я обрисовал ситуацию и ответил на ряд вопросов, заданных Ю. Б., показал увеличенные фотографии, полученные в зачетном опыте. После некоторого молчания Ю. Б. протянул: “Да-а”. Молчание прервал Б. Г. Музруков, произнеся глухим голосом: “Что же делать?” Рисовавший что-то до этого А. Д. Сахаров заключил: “ТРЕПЕТАТЬ!”

Изделие на полигоне сработало нормально. В чем же было дело? Позже, вместе с С. А. Новиковым нам удалось понять причину, вызвавшую эту панику. В зачетном газодинамическом опыте состояние кожуха регистрировалось по появлению свечения на поверхности алюминиевого силового слоя кожуха, который располагался над основным отражающим свинцовым слоем. В зачетном газодинамическом опыте алюминиевый слой был изготовлен литьем. К нему не предъявлялись прочностные требования. Слой имел высокую пористость. Последующие модельные опыты показали, что выход достаточно интенсивной ударной волны вызывает свечение его поверхности вследствие микрокумуляции из пор алюминия, в то время как основной, свинцовый, слой остается еще в девственном состоянии.

За все надо платить. В последующих опытах такого типа над наиболее напряженными областями кожуха участки алюминиевого слоя просто удалялись.

А. Г. Иванов

Панама

Одним из направлений снижения габаритов и веса зарядов являлась дальнейшая модернизация слоя СДИ – переход к многоточечному инициированию. Этот путь представлялся наиболее перспективным. Поэтому в 1963 году была начата отработка таких СДИ в трех отделах для зарядов разных габаритов.

Перед нашим отделом стояла наиболее ответственная задача уменьшить габариты и вес серийного заряда, модернизировав его в другой заряд путем

замены СДИ на многоточку. Такой заряд можно было разместить на носителе меньшего габарита. После завершения отработки нового СДИ, в соответствии с программой работ, в отделе были проведены и динамические опыты по определению коэффициента отбора энергии оболочками от ВВ. И, о ужас! Модернизация привела к потере ~17 % энергии. За счет чего? Сработали два фактора. При инициировании основного заряда ВВ посредством прежней СДИ некоторая часть энергии ВВ, содержавшейся в ней, передавалась оболочкам. При переходе на многоточечное инициирование эта часть фактически терялась безвозвратно. Другим фактором являлся переход от одновременного инициирования СДИ по всей сферической поверхности ВВ основного заряда к инициированию его в отдельных точках. Второй фактор не столь критичен. Казалось, что, увеличив число точек инициирования, можно существенно снизить 17 % потерь энергии оболочек. Это направление оказывалось также тупиковым, так как используемое в новой системе СДИ ВВ имело достаточно большой критический диаметр, что не позволяло заметно увеличить число иницирующих точек (столбиков).

Тем не менее выход был найден Л. И. Огневым и В. И. Постниковым: они предложили заменить каждый столбик, иницирующий основной заряд ВВ, на линзочку существенно большего диаметра – “колокольчик”. Такая замена, по оценкам, должна была быть эквивалентной увеличению числа точек инициирования по меньшей мере в 4 раза! Как говорится, голь на выдумку хитра.

Конечно, конструкция СДИ существенно усложнялась. Позже, после разработки взрывчатых составов с существенно меньшим критическим диаметром, при разработке других зарядов, от колокольчиков отказались, многократно увеличив число точек инициирования.

Но это все в будущем. А в то время это был единственный путь решения возникшей проблемы. Конечно, потребовалась работа в авральном режиме не только газодинамиков и конструкторов, но и работников производства по освоению, по существу, новой СДИ. Но игра стоила свеч. Проведенные заключительные динамические опыты показали, что снижение коэффициента отбора энергии уменьшилось с 17 % до приемлемой величины ~7 %. Такой результат был эквивалентен увеличению числа точек инициирования не в 4 раза, как ожидалось, а примерно в 6 раз!

В заключение хотелось бы отметить благородство Д. А. Фишмана при решении создавшейся проблемы. С его стороны не было даже попытки найти “козла отпущения” в создавшейся ситуации, что не раз можно было наблюдать со стороны других руководителей в подобных случаях.

Кстати, о названии заметки*. Во Франции для описания подобной ситуации было бы употреблено другое слово – “Березина”, хотя сейчас далеко не каждый француз ответит, как оно возникло. По крайней мере, так экскурсовод информировал нас, иностранцев.

* Известно, что для уменьшения расходов на переход из Атлантического океана в Тихий был предложен проект Панамского канала. Реальная стоимость его сооружения оказалась во много раз больше запланированной.

В. Д. Макаров

Из воспоминаний о прошлом

В Приволжскую контору Главгорстроя я прибыл в июле 1955 года для прохождения преддипломной практики и написания дипломной работы. До этого я практически завершил дипломную работу в ИХФ под руководством Апина А. Я. Взрывные эксперименты я проводил в “башне” под наблюдением и руководством Беляева А. Ф.

Лишь много позднее узнал, что и Беляев А. Ф. и Апин А. Я. принимали активное участие в создании первой атомной бомбы (1949 год) и некоторое время работали в Сарове. По режимным соображениям никто в ИХФ не давал справок о том, где находится место, куда получили направление на практику несколько студентов МИФИ. Кроме меня, сюда приехали Арифов М. И., Владимиров Л. А., Лавровский Ю. Д., Фунтиков А. И. (все по специальности “Газодинамика”).

Во ВНИИЭФ я попал в основном благодаря Саше Фунтикову, который пришел в нашу группу из МГУ (или МФТИ, точно не помню). Когда на старших курсах стали выделять отдельную группу, занимающуюся подготовкой специалистов по газодинамике, он предложил мне и моему закадычному другу Севке Цветкову перейти в эту группу, намекая на возможность заняться в будущем ядерной тематикой.

В ИХФ читали лекции и проводили практические занятия Кондратьев, Гольдманский, Шнирман, Компанец, Дьяков и другие.

Практические навыки проведения взрывных работ я получил, как уже отмечалось выше, у Беляева А. Ф. и Апина А. Я. Под руководством Апина А. Я. я чуть было не закончил дипломную работу, посвященную исследованиям зависимости скорости детонации ВВ от температуры.

А. Ф. Беляев очень хотел, чтобы я остался ИХФ, однако в мае 1955 года он сказал, что не смог отстоять меня, и мне придется ехать на практику по предписанию. Его я получил вместе с билетами на поезд (“До самого конца, нигде не вылезать”, – исчерпывающие указания) в невзрачном жилом доме на Цветном бульваре.

С этими документами и ценными указаниями я отбыл в конце июля 1955 года с Казанского вокзала в неизвестном для родных и знакомых направлении и прибыл в какой-то город. Осел я в нем (в Сарове) и проработал во ВНИИЭФ ни много ни мало пятьдесят лет.

Первые впечатления

Отдел 26 находился в июле 1955 года в здании, которое сейчас занимает заводоуправление. Первый раз я попал туда в обеденный перерыв. В большой комнате, по периметру уставленной столами, находились инженеры и лаборанты. Первыми пожали мне руку и познакомились со мной Женя Савинов (лаборант тогда) и Володя Беспалов (инженер). Они азартно играли в шахматы, причем Беспалов все время проигрывал и очень сильно переживал каждый проигрыш.

Знакомство мое с конструкциями ядерных зарядов происходило следующим образом. Тогдашний начальник отдела Н. А. Казаченко нарисовал на доске несколько концентрических кругов и затем быстро стер нарисованное. Остальные сведения я получил позднее из отчетов (малую часть, ибо отчеты писались от руки с пропусками основных размеров и без указания активных материалов) и из практики работы с натурными зарядами на лесных площадках сектора, в которую мне скоро пришлось окунуться с головой.

Где-то в августе меня впервые взяли на большой опыт с натурным зарядом на площадку № 3. Для меня многое было знакомо, потому что в ИХФ я был допущен к взрывным работам в качестве взрывника. Однако там заряды ВВ были небольшие (~0,5–1 кг), и опыты проводились в башне, за стенами которой звук взрыва был практически не слышен. На лесных площадках Сарова в это время испытывались натурные заряды с оболочками из природного урана-238 и весом ВВ ~200–300 кг. От грохота закладывало уши. Кроме того, в каземат через открытые амбразуры проникало много пыли. Первое желание после взрыва – скорей выйти на воздух. Однако и там тоже некоторое время висело пылевое облако, так что условия после подрыва заряда были не очень комфортные. Запомнился еще один любопытный факт: сразу после взрыва техники и лаборанты деловито шныряли по полю около каземата, разыскивая куски урана-238, которые остались после взрыва. Мне быстро объяснили, по каким признакам их можно найти, и я включился в игру, найдя небольшой кусок красного, как уголек в печи, и очень тяжелого металла. Отдал его технику (фамилию не помню), который в этот раз собрал около 2 кг кусков нераспыленного урана. Оказалось, что их можно было сдать и получить деньги. Вскоре этот порядок был изменен, и за разбросанные куски урана перестали что-нибудь выдавать, и их попросту перестали собирать. Сейчас эти куски разбросаны по всем лесным площадкам и никого это не интересует. А собирать в то время было что. В 1958–1960 годах только мною было проведено около сотни натурных опытов с зарядами ВВ весом до 200 кг и оболочками из урана-238 весом 5–10 кг. Всего через наши руки прошли сотни килограммов урана, которые остались в земле, так как “стреляли” оболочками вниз. Моя дипломная работа во ВНИИЭФ касалась вопросов живучести наружных кожухов зарядов. Исследовалась зависимость времени пробоя наружного кожуха от различных факторов: материала, его толщины, местоположения относительно заряда ВВ и т. д.

Я приноровился в одном опыте получать 7–10 экспериментальных точек на графиках. Для реализации этой идеи мы с Лисицыным Ю. В. (превосходный техник, специалист по осциллографии) и Чекановым А. (лаборант) собирали до 10 отдельных сборок на каждую вариацию параметра (например, толщины защитного слоя кожуха) и затем в опыте подрывали их все сразу от высоковольтной установки. За несколько выездов на площадку я получил доста опытных точек и все необходимые результаты для ответа на поставленные вопросы. Практически экспериментальная часть дипломной работы была выполнена за 1 месяц. В марте 1956 года я успешно, с оценкой “отлично с отличием” (необходимое дополнение для студентов, претендующих на диплом с отличием), защитил дипломную работу, и тогда встал вопрос о трудоустрой-

стве. В ИХФ я мог начинать с мнс с окладом 1050 руб. без каких бы то ни было перспектив получить жилье для семьи (я уже был женат). Во ВНИИЭФ я мог получить оклад 1400 руб. (100 руб. из них – за красный диплом) и надбавку за “зону”. Это несколько меньше, нежели то, что я получал на дипломной практике: мы были проведены препараторами-практикантами 5 разряда с окладом ~1000 руб. и надбавкой за “зону” 20 %, получали стипендию в МИФИ (750 руб. у меня). Однако с учетом того, что моей жене обещали работу по специальности, а нашей семье – жилье к концу 1956 года, я решил остаться на работе во ВНИИЭФ. Первой серьезной работой, которую я выполнил в группе Олейника А. Г., была разработка и осуществление программы исследования возмущений в натуральных шаровых зарядах, первая часть которой пришлось на 1958–1960 годы. Затем исследования были продолжены вплоть до 1972 года, а затем обобщены в моей кандидатской диссертации, защищенной в 1973 году.

В отделе 26 отработку натуральных зарядов на первых порах проводили практики, специальность которых была весьма далекой от газодинамики: Казаченко Н. А., Кустов В. С., Захаренков А. Д., Калашников Б. С. и др. Однако на всех уровнях руководства: отдела 26 – Казаченко Н. А.; сектора 3 – Леде-нев Б. Н.; КБ-11 – Негин Е. А., – была поддержана уникальная (по количеству натуральных опытов) программа исследования развития возмущений, заданных в фокусирующих элементах ряда шаровых зарядов. Для исследования были выбраны заряды, различающиеся как по габаритам, так и по конструкции ЦЧ. Возмущения в элементах задавались разного знака.

Асимметрия схождения оболочек (АСО) измерялась с помощью приемников, установленных на различных радиусах, вплоть до $R_{\text{изм}} = 0,1 R_{\text{ВВ}}$.

В течение двух лет было проведено около 100 натуральных опытов, что потребовало приличной загрузки мощностей заводов, так как изготавливалась вся оснастка, применяемая в боевых изделиях.

Вследствие того, что опытные блоки привозили готовыми с завода и устанавливали с помощью автокрана, количество сотрудников, необходимых на опытах, было невелико: взрывник, помощник взрывника и 1-2 лаборанта.

Измерения проводились, в основном, фотохронографическим методом (на 2 приборах СФР-2). Уникальность и ценность проведенной работы до сих пор не оценена по достоинству, хотя на основании этих опытов были позднее сформулированы критерии газодинамической отработки. В проведении опытов участвовали Савинов Е. В., Большаков А. П., Пермяков В. В., Безруков Г. И., Громов В. Ф., Чеканов А. И.

О “разнопартийности” ВВ

К 1960 году вызрели две проблемы, которыми пришлось заниматься группе Олейника А. Г. вместе с Ю. Б. Харитоном. В это время Олейник и я стали частыми гостями на различных совещаниях у Ю. Б., где обсуждались вопросы “разнопартийности”. Речь шла, разумеется не о явлении политического толка, хотя определенная настороженность в период господства КПСС могла возникать. При отстреле фокусирующих элементов (ФЭ) в двух изделиях, стоящих на вооружении, были обнаружены заметные колебания асимметрии фронта ударной волны, выходящей из-под слоя ВВ. Колебания асиммет-

рии доходили до ~ 1 мкс, а знаком возмущений по центру ФЭ мог быть как плюс, так и минус, т. е. как опережение, так и отставание. Анализ показал, что ВВ, изготавливаемое на заводе, обладает различным временем задержки возбуждения детонации под ФЭ, что в первую очередь явилось следствием отсутствия ТУ на коллоксилин, входящий в состав ВВ. По этому поводу я впервые увидел и услышал разгневанного Ю. Б., который в адрес конструкторов несколько раз повторил: “Какой кабак, какой кабак!” Нашей группой были проведены необходимые исследования максимально возможного эффекта “разнопартийности”, предложена редакция прямого полигонного испытания, которое было проведено в 1961 году, прошло успешно и сняло напряжение.

Вторая проблема возникла в зарядах при неблагоприятном сочетании допусков на детали, а также влияния “разнопартийности”. По нашей инициативе и с соответствующей подготовкой был проведен прямой полигонный опыт со специально заданной асимметрией оболочки, которая не превышала $\sim 30\%$. Опыт прошел успешно. Качество боезапаса было полностью защищено.

В 1965 году наша группа осталась без руководства, ибо Олейник А. Г. после защиты диссертации (кстати, по весу его диссертация могла бы претендовать на попадание в книгу рекордов Гиннеса, так как весила около 5 кг) неожиданно для меня и для всех членов группы перешел в сектор 4 в отдел Павловского А. И., прихватив с собой одного из лучших лаборантов отдела Моруну К. В диссертацию А. Г. Олейника вошло все сделанное в группе за эти годы по вопросам развития возмущений в зарядах. Исследования в этом направлении полностью прекратились. Часть группы Олейника занялась исследованием электрических явлений, сопровождающих взрывные процессы. Позднее была образована лаборатория, куда перешли Минеев В. Н., Тюняев Ю. Н., Савинов Е. В. и все лаборанты. Сиденко Ю. уехал в Москву.

После недолгих размышлений я занялся созданием методики непрерывной регистрации АСО, которую начал отрабатывать в секторе 3 Проскурин И. Г. Около четырех лет вместе с моим единственным помощником, мастером на все руки, техником Ворсиным Валерием Александровичем мы потратили на создание методики и получение первых экспериментальных результатов. Нам удалось получить удовлетворительные записи ($r-t$)-диаграмм движения оболочек и пластин, а также получить записи развития возмущений во времени.

Позднее на новом организационном уровне методика была доведена до ума в лаборатории Ловягина Б. М. Приятно сознавать, что усилия, потраченные на отработку методики непрерывной регистрации, не пропали даром. Совсем недавно из патентных служб нам сообщили, что по заявке на изобретение выдано положительное решение и скоро методика будет защищена патентом.

В конце 60-х годов я снова вернулся к исследованию вопросов стабильности ядерных зарядов и правильной интерпретации данных газодинамической отработки, полученных на макетах – имитаторах активных материалов. При самом благожелательном отношении со стороны начальника отдела Иванова А. Г. я провел исследования влияния на асимметрию различных факторов: прочности оболочек, их толщины, местоположения, рода материалов и т. д. Большая серия опытов была проведена на блоках “В” (~ 60 блоков) натурных зарядов, снимаемых с производства.

По результатам исследований я представил три доклада на газодинамической конференции 1972 года. Проведенные исследования легли в основу моей диссертации, написанной в 1972 году. В ней были приведены законченные результаты исследования развития возмущений различных номеров гармоник n (с $n = 2$ до $n = 30$). Результаты были обработаны в единой манере с определением линейной величины возмущений Δr (мм). Для определения последних были проведены необходимые численные расчеты.

В 1975–1976 годах на полигоне ГОСЦНИИП-2 были проведены опыты по измерению величины асимметрии схождения оболочек из плутония и других материалов (для сравнения: из урана, свинца, меди).

Инициатива проведения, подготовка чертежной документации, курирование изготовления блоков на заводе проводились мною. Однако на полигон из-за плохого состояния здоровья я не поехал. Опыты были успешно проведены Рождественским Б. Ф. и другими сотрудниками. Они, в основном, подтвердили ранее полученные на внутреннем полигоне результаты и заставили обратить внимание на необходимость учета прочности оболочек.

В отделе 26 я сформировался как специалист и как человек, со всеми положительными и отрицательными чертами характера. 23 года я проработал здесь, радуясь успехам отдела и переживая его неудачи.

Кроме основной работы, я принимал участие во многих экспертизах, когда решался вопрос о целесообразности того или иного полигонного испытания, а также когда отыскивались причины неудачного испытания ШЗ. Работа такого рода – крайне неблагодарное дело, так как неизбежно приходится вступать в конфликт с разработчиками “неудачных” ШЗ, отыскивать возможные недоработки и упущения. Однако я считал такую работу крайне необходимой, определяющей качество нашей продукции.

В 1978 году я сделал попытку участвовать в конкурсе на должность начальника лаборатории, но не нашел поддержки у членов НТС. Моим надеждам на то, чтобы в отделе 26 не только отрабатывались новые конструкции, но и анализировались результаты ГДО ранее отработанных ШЗ, не суждено было сбыться. Я попытался найти такие возможности в других отделах сектора 3 и в конце 1978 года перешел в лабораторию Стяжкина Ю. М. (отдел 0304).

С точки зрения прожитых лет, этот шаг свой я должен признать ошибочным. В отделе 26 я провел свои лучшие годы в экспериментальной работе и покидал ее с большим сожалением.

Спорт и люди

В конце 50-х и начале 60-х годов состав сектора был весьма молод. То же можно сказать и об отделе 26. В первых секторских соревнованиях отдел 26 неизменно участвовал во всех проводимых спортивным советом мероприятиях. Особых успехов достигли его сотрудники в таких популярных видах спорта, как футбол, волейбол и шахматы. Первыми чемпионами сектора по футболу были (перечислю, кого помню) Кочкин Л. И. (вратарь), Коннов В. Н., Безруков Г. И., Савинов Е. В., Калашников Б. С., Дивнов И. И., Беспалов В. А., Макаров В. Д. и другие. Сохранился фотоколлаж одного из соревнований.



Диплом команды отдела 26, победителя соревнований на кубок по футболу коллектива "Ракета". 1961 год

Заводилой в волейболе был Калашников Б. С., выступавший также за сборную сектора. Вместе с ним в 1957 году в соревнованиях на кубок победителями стали Юферов И., Заворыкин Н., Голиков В., Макаров В., Коннов В., Савинов Е. В финале им противостояла команда отд. 20: Телегин Г., Томашевич И., Ушаков, Кузько О., Стяжкин Ю., Симаков Г. В шахматных баталиях борьба шла также в основном между 20 и 26 отделами, где на первых досках выступали перворазрядники Дудолодов И. (отд. 20), Юферов И., Савинов Е. (отд. 26), а далее были Телегин Г., Стяжкин Ю., Зубарев В. (отд. 20), Калашников Б., Беспалов В., Макаров В. (отд. 26).

В перерыве рабочего дня многие увлекались игрой в блиц-шахматы, а кто-то сражался в домино. Наиболее серьезные ставки разыгрывались в парах Васильев Л. В.—Макаров В. Д. против Кочкина Л. И.—Савинова Е. В. Если же все слышали издевательское хихиканье и ответную руладу не совсем норма-

тивной лексики, то не слишком удивлялись, знали, это Беспалов В. А. опять проиграл Калашникову Б. С. партию в шахматы.

Многие сотрудники отдела принимали участие практически во всех соревнованиях, проводимых в секторе 3 и городе.



К очередному матчу на первенство сектора по футболу готовятся как участники (Макаров В. Д., Савинов Е. В., Коннов В. Н.), так и постоянные болельщики (Лавровский Ю. Д. и Чеканов А. И)



Постоянный участник лыжных соревнований Иванов А. Г. (справа Зубарев В. Н.)



Савинов Е. В. и Кочкин Л. И. готовы участвовать в кроссе по пересеченной местности



Сотрудники на привале. Васильев Л. В. и Рождественский Б. Ф.

Несколько историй из жизни отдела 26 из серии “И в шутку, и всерьез”

Во время одного из первых выездов на площадку я, как и вся группа во главе с начальником отдела Казаченко Н. А., испытал неприятные ощущения, когда после взрыва заряда весом более 150 кг в боковом отсеке, из которого управляли подрывом, с потолка свалилась войлочная (с фанерой) затычка отверстия в каземат. Создалась полная иллюзия того, что каземат рушится. Удар войлока пришелся точно по Казаченко Н. А. Дядя Коля (так в шутку звали Казаченко) долго ругался на непорядки в каземате.

Кустов В. С. завел неукоснительный порядок – каждого дипломника и молодого специалиста посылать за спиртом “для промывки оптических осей приборов” к ответственной за хранение спирта в отделе. Делалось это незадолго до обеда...

Подготовка взрывного опыта – дело трудоемкое, требующее много сил и времени. Тем обиднее, когда все усилия оказываются напрасными и в результате получается “ноль”. Вспоминается два таких случая. В одном Минеев В. Н. (в молодости он сильно заикался) не успел закончить фразу: “за-за-затворы”, как Олейник А. Г. скомандовал: “Огонь!” – и подорвал сборку, монтаж которой длился весь рабочий день. Поскольку затворы остались закрытыми, опыт дал нулевой результат.

В другом случае подрыву сборки в опыте сопутствовал ожесточенный спор руководителя опыта Олейника А. Г. и техника Лисицына Ю. В., можно ли при снаряженных КД цепях при отказе подрыва разряжать высоковольтную установку (ВУ) с помощью разрядника в каземате. Возражающий против этой операции Лисицын был удален Олейником из каземата в диспетчерскую. После этого Олейник собственноручно разрядил ВУ, после чего произошел взрыв сборки, по-видимому, от наводок. Информация в опыте была утрачена.

Таковы разрозненные впечатления о годах, проведенных в отделе 26, с июля 1955 года по октябрь 1978 года.

В заключение считаю своим долгом вспомнить тех замечательных людей и специалистов, с кем довелось работать в отделе 26 и кто не дожил до сегодняшнего дня: Казаченко Н. А., Кустова В. С., Лавровского Ю. Д., Калашникова Б. С., Васильева Л. В., Лисицына Ю. В., Коннова В. Н., Пермькова В. В., Фомкина В. Д., Цыпленкова Ф. И., Чеканова А. И., Безрукова Г. И., Тюнькина Е. С., Перебатова В. И., Андреева А. М., Беспалова В. А.

В. А. Синицын

Динамическая прочность и масштабный эффект

Пасмурным холодным вечером 8 апреля 1958 года мы со Смирновым Г. С. впервые ступили на саровскую землю. Больше суток паровозы, сменяя друг друга на разных станциях, неспешно тянули наш поезд в полную неизвестность. Весна в том году была поздняя: в проплывавших за окнами вагона лесах еще было много снега, а на полях появились первые проталины. За Арзамасом на обтаявших возвышенностях часто встречались ветряные мельницы с плавно вращающимися огромными деревянными крыльями. Дорога вошла в лес. Поезд подолгу стоял на станциях со странными названиями: Шатки, Сатис, Березино, Стекланный... Затем вкатился в длинный коридор из колючей проволоки и плавно остановился. За окном были слышны отрывистые команды, лай собак, кто-то пробежал по крыше вагона. У юных студентов МИФИ, ехавших в таинственную “Приволжскую контору” делать диплом и двигать науку, эти звуки и мрачная обстановка за окном вызвали легкую дрожь и пробудили недобрые предчувствия. Вскоре по вагонным ступенькам застучали кованые сапоги, двери из тамбура распахнулись, и в вагон вошли два вооруженных солдата. Они приказали всем пассажирам встать со своих мест и провели осмотр всех лавок, полок, багажных ящиков и других мест, где мог бы укрыться человек. Вслед за этими солдатами в вагоне появились офицер и еще два солдата, и офицер стал очень внимательно просматривать документы и пропуска на въезд у всех пассажиров. Иногда бдительного досмотрщика что-то не удовлетворяло в предъявленных документах, и тогда незадачливого пассажира уводили из вагона для дальнейшего выяснения. Казалось, что этому не будет конца... Но вот паровоз загудел, вагоны вздрогнули и покатали на станцию Тупиковая.

Можно долго рассказывать о том, как мы после такой поездки ночью в незнакомом пугающем городе искали гостиницу, как из гостиницы нас по распоряжению дежурного по “объекту” на “козле” отвезли в новое общежитие на ул. Ленина, д. 4, как мы несколько дней оформлялись в отделах кадров, техники безопасности, режима и других важных инстанциях. И вот 16 апреля 1958 года с направлением отдела кадров предприятия мы пришли для трудоустройства к начальнику сектора 3 Борису Николаевичу Леденеву. На “смотрины” пришли “покупатели” из нескольких отделов. Георгия Сергеевича присмотрел Герасимов В. М. (отдел 25, начальник отдела Тимонин Л. М.), меня –

Иванов А. Г., который был в то время начальником группы в отделе 26 (начальник отдела Казаченко Н. А.). Мы были приняты на работу препараторами 5 разряда для прохождения преддипломной практики и выполнения дипломной работы. С этого дня началась моя трудовая биография на знаменитой ныне, а тогда мало кому известной саровской земле.

Моим руководителем стал Иванов Анатолий Григорьевич, казавшийся нам уже немолодым (почти 35 лет!). В группе работали почти одного со мной возраста Станислав Новиков (выпускник ЛПИ, худой и лохматый, с орлиным профилем и быстрым и непонятным северным говором), Лева Кочкин (дипломник вечернего отделения МИФИ, отличный фотограф, самодеятельный скрипач), техник Леша Васильев (степенный, мускулистый и плечистый гимнаст). Большинство сотрудников отдела были молоды, общее дело, важность которого все понимали, объединяло и сближало не хуже родственных связей.

Темой моей дипломной работы стало исследование упругих волн в различных конструкционных материалах при взрывном нагружении. Выполнение такой работы стало возможным благодаря тому, что Ивановым А. Г. вместе с Новиковым С. А. к тому времени был отработан метод емкостного датчика для измерения скорости поверхности объектов из электропроводных материалов. Предложенный ими емкостной датчик в совокупности с новым тогда осциллографом ОК-17М позволял измерять скорость указанных поверхностей в диапазоне от ~ 1 м/с до десятков и сотен метров в секунду.

В литературе тогда появилось первое сообщение (Миншелл) об обнаружении системы двух волн – упругой и пластической – в цилиндрическом образце из стали при взрывном нагружении. В работе использовалась прецизионная электроконтактная методика для измерения смещения свободной поверхности образца при выходе на нее упругой и пластической волн деформации. В экспериментах Миншелла электрические контакты, с помощью которых определялось смещение во времени свободной поверхности образца в упругой и пластической волнах деформации, выставлялись под микроскопом, а скорость свободной поверхности получалась путем графического дифференцирования экспериментальной кривой “смещение свободной поверхности образца – время”. Для выявления тонких деталей в поведении материалов при ударно-волновом нагружении такая методика была не пригодна. Предложенная Ивановым А. Г. и Новиковым С. А. емкостная методика значительно расширяла возможности проведения исследований распространения ударных волн в токопроводящих материалах, так как позволяла вести непрерывную запись скорости свободной поверхности исследуемого объекта во времени.

К моменту окончания моей работы над дипломным проектом в секторе и отделе произошли большие изменения. Начальник сектора Леденев Б. Н. был направлен в Китай, начальником сектора назначили Казаченко Н. А., Иванов А. Г. стал начальником отдела, начальником группы и руководителем моей дипломной работы стал Новиков С. А. Ее публикация в 1959 году стала одной из первых, посвященных исследованию упругого предвестника в металлах и сплавах. Были испытаны образцы из стали (Ст. 3), меди (М1), латуни (ЛС-59), алюминиевого сплава Д1, урана и свинца и определен динамический предел текучести этих материалов при скорости деформирования 10^3 – 10^4 с⁻¹.

В дальнейшем перечень исследованных материалов был значительно расширен. Проводились исследования влияния на характеристики упругого предвестника в различных материалах их термообработки, температуры в момент испытания. В экспериментах с образцами различной толщины был обнаружен эффект снижения амплитуды упругой волны (затухания упругой волны) в процессе ее распространения по образцу. Кроме меня, Иванова А. Г. и Новикова С. А. в этой работе активное участие принимал Васильев Л. В.

Исследования поведения различных материалов при ударно-волновом воздействии шли вширь и вглубь. К нам присоединялись новые исследователи-экспериментаторы и теоретики (Тарасов Ю. И., Дивнов И. И.). Эти исследования позволили обнаружить электрические явления на фронте ударной волны в некоторых материалах, дали возможность проследить за кинетикой фазовых превращений при ударно-волновом нагружении.

В это же время (1960–1961 годы) в отделе 20 (начальник отдела Альтшулер Л. В.) Зубарев В. Н., Телегин Г. С. и Панов Н. В. начали экспериментальные исследования реакции замкнутых стальных сосудов (сферических и цилиндрических с эллиптическими днищами) на внутреннее взрывное нагружение. Эта задача возникла в связи с предложениями Сахарова А. Д. о проведении ядерных взрывов в гигантских стальных резервуарах. Отсутствие в отделе 20 методик, позволяющих детально проследить за поведением таких сосудов в процессе взрывного нагружения, дало возможность исследователям выявить лишь некоторые качественные закономерности в их реакции на взрывное нагружение (минимальный вес разрушающего заряда, максимальная деформация перед разрушением). Емкостная методика измерения скорости свободной поверхности открывала новые возможности при проведении исследований реакции замкнутых оболочек на внутреннее взрывное нагружение. С конца 1960 года такие исследования стали проводиться в отделе 26 Новиковым С. А., мною и Васильевым Л. В. На первом этапе исследовалось поведение сферических сосудов диаметрами 165 мм и 330 мм и цилиндрических с эллиптическими днищами. Толщина оболочек составляла около 10 % от их радиуса. Для помещения сферических зарядов взрывчатого вещества (ВВ) у сосудов имелись длинные цилиндрические горловины с фланцами на конце, вследствие чего они по форме напоминали стеклянные лабораторные колбы. Под таким названием и использовались эти сосуды в экспериментальной практике. К фланцу колбы на болтах крепилась пробка с закрепленным на ней сферическим зарядом ВВ, практически герметично закрывавшая колбу в экспериментах.

Использование в экспериментах емкостного датчика скорости позволило детально исследовать поведение замкнутых стальных оболочек при внутреннем взрывном нагружении. Кроме затухающих колебаний оболочки относительно ее центра с собственной частотой, на осциллограммах наблюдались также затухающие пульсации ударной волны в стенке колбы со скоростью звука. Было обнаружено, что при испытании оболочек в пластической области деформирования эти пульсации отсутствуют, а интенсивность их затухания возрастает при переходе из области упругой деформации в область частичной пластической деформации. Упругие пульсации отсутствовали также при про-

ведении испытаний в упругой области, если перед этим испытанием в тот же день оболочка испытывалась в пластической области деформирования, а при перерыве в испытаниях в один-два дня свойства материала оболочки восстанавливались. Это были очень интересные новые результаты, которые ранее никем не наблюдались.

Еще большие неожиданности ждали исследователей при проведении испытаний колбы диаметром 1,5 м и массой 7 т, изготовленной из котельной стали 22К на Барнаульском котельном заводе. “Царь”-колба на специальной подставке была установлена на площадке № 2. В верхней части подставки вокруг горловины был изготовлен деревянный настил, огороженный поручнями. К настилу с земли вела металлическая лестница. С этого настила осуществлялась установка в колбу пробки с прикрепленным к ней зарядом ВВ и извлечение пробки из колбы. Для установки в колбу и извлечения из нее полутонной пробки использовалась ручная таль, закрепленная на кран-балке.

При испытаниях колбы для измерения ее деформации в процессе взрывного нагружения была впервые во взрывных экспериментах применена тензометрическая методика. Проволочные тензодатчики кустарным способом изготавливали в секторе 15 (ныне АИИК). Тензодатчики наклеивались на различные участки колбы клеем БФ-6 и часами просушивались с помощью мощной электрической лампы с рефлектором. Под днищем колбы был установлен емкостной датчик скорости.

Вспоминается курьезный случай, который произошел при подготовке колбы и ее оснастке к проведению опытов. Когда вся работавшая группа была в каземате, Соболев Ю. С., бывший тогда лаборантом, из свойственного ему любопытства решил посмотреть на колбу изнутри. Воспользовавшись цепью с крюком, которыми с помощью тали извлекалась из горловины колбы и вставлялась в нее пробка с зарядом ВВ, Юра, никого не предупредив, спустился через открытую горловину в колбу. Не обнаружив в колбе ничего интересного, он решил тем же путем выбраться обратно. Но не тут-то было. Узкая горловина не позволяла выбраться наружу, подтягиваясь на руках. Другой возможности выбраться не было. Юра стал кричать, звать на помощь, но звуки наружу практически не выходили. Спустя какое-то время, группа, проводившая монтажные работы, закончила работу и стала готовиться к отъезду. Хватились – нет Юры. Посмотрели в каземате, у колбы, под колбой – нигде нет. Поднялись на помост. И тут только услышали его глухие призывы о помощи. Талью опустили крюк пониже в колбу, Юра крепко ухватился за него, и начал подъем. Таль поднимает очень медленно, поэтому только минут через десять после начала подъема замерзший, напуганный и уставший от криков Юра очутился на помосте.

Перед началом испытаний колбы по результатам испытаний сосудов меньших размеров была оценена масса разрушающего заряда, при этом исходили из условия равенства разрушающих деформаций. По этим оценкам колба должна была выдержать взрывы зарядов массой до 40 кг. Отработку методики испытаний решено было начать с существенно меньшими зарядами.

В первом опыте в колбе был взорван заряд массой 3 кг. Звук взрыва совсем не был слышен в каземате. Только слабое шипение, издаваемое выры-

вающимися через неплотности в креплении пробки продуктами взрыва, говорило о том, что заряд взорвался. Деформация колбы и скорость ее колебаний были четко измерены с помощью тензометрической и емкостной методик. Измеренные величины хорошо соответствовали их предварительным оценочным значениям. Колба деформировалась только упруго, далеко от перехода в пластику. Сходным образом прошли трехкратные испытания при подрыве зарядов массой 5 кг.

В пятом опыте в колбе был взорван заряд массой 7,5 кг. Ожидалось, что деформация колбы несколько возрастет, но останется упругой, а в остальном все будет как в предыдущих опытах. Любопытный Юра Соболев, изучивший уже колбу изнутри, захотел посмотреть на ее поведение в опыте снаружи. Он попросил меня разрешить ему побыть во время опыта у колбы. Я отказал ему прежде всего потому, что это было бы грубым нарушением действующих инструкций по технике безопасности, а также потому, что такой солидный заряд требовал почтительного отношения к себе.

И вот все подготовительные операции завершены. Второй раз провыла сирена. Нажата кнопка подрывной установки и... страшный грохот потряс каземат. На поле перед нашими глазами предстала впечатляющая картина. Там, где совсем недавно была подставка с колбой, осталась только разрушенная подставка, а метрах в 10 от нее на снегу чернели дымящиеся половинки колбы. Разрушение произошло не по слабому месту конструкции – экваториальному сварному шву, а перпендикулярно ему и носило хрупкий характер. Ни одна из существующих теорий прочности не позволяла объяснить произошедшее. Тщательный осмотр осколков после опыта не выявил дефектов у колбы, которые могли бы стать причиной ее преждевременного разрушения. Налицо был значительный масштабный эффект. В литературе описывался масштабный эффект при разрушении, который объяснялся статистическим характером изменения числа дефектов в конструкции при изменении ее масштаба. Однако масштабный эффект статистической природы был значительно слабее наблюдавшегося в наших опытах. Результаты опыта с большой колбой взволновали многих исследователей, связанных со взрывными работами. Дело в том, что для аттестации крупногабаритных конструкций, испытывающих при эксплуатации значительные внутренние импульсные нагрузки, проводились, как правило, эксперименты с их геометрически подобными уменьшенными моделями, а результаты переносились на натуру. Обнаруженный эффект требовал более детального исследования и подтверждения. Для этого из осколков разрушенной колбы были изготовлены геометрически подобные уменьшенные модели M1:5 и M1:15. Эксперименты с моделями подтвердили наличие значительного масштабного эффекта непонятной пока природы при разрушении. Очень интересная мысль, объясняющая этот эффект, была высказана Ивановым А. Г. Он предположил, что за разрушение конструкции ответственна накопленная ею при нагружении упругая энергия деформирования. Эта энергия при изменении масштаба объекта меняется пропорционально кубу его характерного размера, а работа разрушения (энергия, необходимая для разделения объекта на две части) пропорциональна площади поперечного сечения объекта, т. е. квадрату его характерного размера. Идея настолько за-

хватила Анатолия Григорьевича, что он продолжал заниматься теоретическими выкладками, даже отдыхая в санатории Кисловодска. Я в это же время был в санатории в Железноводске. В один из дней сосед по палате сказал мне, что у входа в санаторий меня ждет какой-то мужчина. Это был Анатолий Григорьевич. Он знал, что я нахожусь в Железноводске, и разыскал меня. В руках у Анатолия Григорьевича была ученическая тетрадь. Он кратко изложил свои соображения об энергетической природе масштабного эффекта при разрушении и, протянув мне тетрадь с его теоретическими выкладками по этому вопросу, попросил ознакомиться с ними и, при необходимости, подкорректировать. Предложенная Анатолием Григорьевичем идея позволила нам, с использованием результатов экспериментов с геометрически подобными колбами разного масштаба, получить для них расчетно-экспериментальную зависимость относительного веса разрушающего заряда от радиуса колбы. Позже существование масштабного эффекта энергетической природы при взрывном разрушении замкнутых сосудов было подтверждено в экспериментах Рыжанского В. А. с заполненными водой колбами разного масштаба.

В 1972 году лаборатория Новикова С. А. выделилась из отдела 26 и стала самостоятельным отделом 16. Вопросами динамической прочности материалов и конструкций продолжали заниматься в обоих отделах, но исследованиями прочности крупногабаритных камер (взрывные камеры, корпуса атомных реакторов) при внутреннем взрывном нагружении стала заниматься в отделе 26 лаборатория В. Н. Минеева.

А. Г. Иванов

Масштабные эффекты энергетической природы. Их ведущая роль при хрупких разрушениях

В процессе разработки и создания новых типов вооружения в разные периоды времени возникала потребность знания реакции замкнутых сосудов на их экстремально высокое, взрывное нагружение изнутри. Тонкости поведения таких сосудов в зависимости от ряда их параметров (материала и его свойств, размера, веса), а также от характеристик взрывчатого вещества, позволял регистрировать емкостной датчик. Первой работой этого направления было исследование влияния марки стали, радиуса сферического сосуда и относительной толщины его стенок на реакцию взрывного нагружения вплоть до его разрушения. Было исследовано и поведение двух цилиндрических оболочек различной длины.

Было показано, что переход к взрывному нагружению существенно усиливает реакцию сосудов, в частности при переходе материала через предел текучести. Последний возрастал у сталей 25 и 35 более чем в 1,4 раза в сравнении с его статическим значением. Основным исполнителем этих работ был молодой инженер В. А. Синицын (А. Г. Иванов, С. А. Новиков, В. А. Синицын // ПМТФ, 1968, № 6, с. 94–98).

Во второй половине 60-х годов из отдела Л. В. Альтшулера были переданы нам два сфероидных сосуда диаметрами 1,5 и 2,0 м из стали 22К. Сосуды были изготовлены на Барнаульском заводе котельного оборудования. Решено было продолжить исследования этого плана на более крупном сосуде диаметром 1,5 м и толщиной стенки $0,214R$ по форме, близкой к сфере. Принимая во внимание, что напряженное состояние двух геометрически подобных (ГП) сосудов при заполнении их газом до одного и того же давления, согласно науке о сопротивлении материалов (СМ), должно иметь одно и то же напряженное состояние, следовало ожидать, что и разрушение их произойдет при одинаковых относительных весах зарядов взрывчатого вещества (ВВ). То есть отношение массы (m) ВВ к массе (M) сосуда ($m/M = \xi$) должно было быть, согласно СМ, примерно одним и тем же как малого, так и большого сосуда. На основе данных по разрушению близкого по форме сосуда, в 5 раз меньшего размера, из стали 25, разрушение сосуда диаметром 1,5 м ожидалось при массе ВВ ~40–70 кг. Фактически он хрупко разрушился на две равные части при массе ВВ 7,5 кг ($\xi = 0,105$). Такой результат поставил нас в тупик. Чтобы исключить возможное влияние ряда побочных факторов: небольшие отличия ГП модели от прототипа, материала (Ст. 22К и Ст. 25), термообработки, температуры испытания и т. п. Из осколков прототипа ($2R = 1,5$ м) были изготовлены ГП модели в 5 и 15 раз меньше по размеру. Результаты взрывных испытаний этих моделей, полученные В. А. Синицыным, подтвердили предварительные результаты с моделью из стали 25 и показали проявление сильных масштабных эффектов (МЭ) при взрывном разрушении ГП сосудов. При уменьшении размера ГП модели в 15 раз относительно прототипа значение параметра ξ возрастало примерно в то же число раз (15–16), так что форму разрушающих зарядов ВВ для наименьших ГП моделей вместо сферы приходилось выполнять в виде эллипсоида, чтобы можно было их ввести через горловину сосуда. Характер разрушения по-прежнему оставался хрупким.

Природа обнаруженного явления не давала мне покоя. Отдыхая ранней весной 1969 года в Кисловодске, пришел к выводу, что объяснить результаты наших опытов можно, если принять во внимание, что работа, совершаемая при прохождении трещины разрушения, пропорциональна площади сечения сосуда (R^2), а кинетическая энергия радиально-ускоряемых стенок пропорциональна массе ВВ и сосуда, т. е. R^3 . Поэтому разрушение ГП сосудов меньших размеров, нагруженных изнутри взрывом ВВ, должно протекать при больших значениях ξ , чем сосудов большего размера. В этот же период В. А. Синицын лечился в Железноводске. Не удержался, съездил туда, поделился с ним найденным объяснением!

Полученные результаты исследований ставили под сомнение традиционные критерии разрушения СМ. Была написана статья по этому вопросу в журнал ДАН СССР, и я обратился к Ю. Б. Харитону с просьбой представить ее к публикации. Внимательно ознакомившись с ней, Ю. Б. сказал, что не считает себя компетентным в данном вопросе, но ему известны два специалиста, которые вызывают у него глубокое уважение своей эрудицией в этой области знаний. Это академик С. Н. Журков из Ленинградского физико-технического

института, автор кинетической концепции прочности, и профессор Г. И. Баренблатт, работающий в Москве. Вот если они не усмотрят какой-либо крамолы в материалах рукописи, он будет согласен ее представить для опубликования в ДАН СССР.

Мое предварительное обсуждение материалов рукописи с профессором А. Г. Угодчиковым из Горьковского университета убедило меня в правомерности представленных материалов.

В Ленинграде при длительном обсуждении с академиком С. Н. Журковым представленных мной материалов пришли к выводу, что они не укладываются в кинетическую концепцию прочности, маловероятным представлялось и их объяснение с позиции масштабного эффекта статистической природы. Его заключение свелось к следующему: “Печатайте, но подстелите соломки”. Рекомендация по поводу “соломки” сводилась к тому, что если все же чего-то мы просмотрели, то при “падении” не так было бы больно.

Г. И. Баренблатта удалось разыскать на даче, под Москвой. Я объяснил ему, кто я, откуда и кто направил меня к нему. Он ознакомился с рукописью и, задав 2-3 вопроса, заключил: “Печатайте”. Вроде как: “Эксперимент – его Величество”. Поездка завершена. Рассказав Ю. Б. о ее результатах, получил направление статьи в редакцию. Статья вышла в ДАН СССР в 1970 году. (А. Г. Иванов, В. А. Сеницын, С. А. Новиков // ДАН СССР. 1970, т. 194, № 2, с. 316–319).

Общепринято, что подробное описание работы обычно публикуется в журналах более узкого профиля. Поэтому фактически одновременно результаты исследований были направлены в журнал ФГВ (Физика горения и взрыва). Там она не нашла поддержки, видимо, по той причине, что ставила под сомнение устоявшиеся критерии разрушения СМ.

В те же годы в СССР регулярно проводились конференции по тематике журнала ФГВ, главным организатором которых являлся профессор А. Н. Дремин и его сотрудники. На одной из таких конференций в 1971 году я проинформировал слушателей о необычных результатах по взрывному разрушению ГП сосудов и посетовал, что вопреки ДАН, журнал ФГВ “заморозил” нашу статью. Толчок помог. Статья вышла в 1972 году (А. Г. Иванов, С. А. Новиков, В. А. Сеницын // ФГВ. 1972, № 1, с. 124–129.).

Вторая сфероидная камера из стали 22К диаметром 2 м была разнотолщинной. В полюсе ее толщина составляла ~17 %, а к экватору вдвое уменьшалась. Как прототип, так и модели его в 10 раз меньшего размера, изготовленные из осколков прототипа заполнялись водой. Сосуд диаметром 2 м разрушился при первом нагружении на 5 фрагментов примерно равного размера, что указывало на избыточную массу заряда ВВ, вызвавшую разрушение. Разрушение моделей носило вязкий характер и наступило при ξ примерно в 5 раз больше, чем у прототипа. Переход к вязкому разрушению модели вдоль экватора был связан с уменьшением толщины сосуда, а также с меньшей скоростью нагружения его и соответственно с меньшим ростом предела текучести материала вследствие заполнения сосуда водой.

Дальнейший рост массы заряда в такой же модели приводил также к трещине в области экваториальной утоненной области, но большего размера, фактически без полного разделения модели на 2 части. Основным исполните-

лем экспериментальных работ являлся В. А. Рыжанский. Результаты исследований приведены в статьях (А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский и др. // ФГВ. 1981, № 3, с. 102–108; А. Г. Иванов, А. А. Учаев и др. // ДАН СССР. 1981, т. 261, № 4, с. 868–871).

Главный вывод этих исследований состоит в том, что масштабные эффекты энергетической природы (МЭЭП) при разрушении ГП объектов существуют. Неучет их может явиться одной из главных причин непрогнозируемых катастрофических разрушений как крупногабаритных изделий, так и изделий из материалов с высоким пределом текучести, эксплуатируемых при низких температурах и высоких скоростях деформации.

Эти исследования позволили:

- найти физическое объяснение природы масштабных эффектов, впервые обнаруженных Галилеем при разрушении ГП галер разного размера, как проявление МЭЭП (В. З. Партон. Механика разрушения. От теории к практике. М.: Наука, 1990, с. 240 (см. стр. 20);

- объяснить и описать природу многокилометровых хрупких разрушений магистральных трубопроводов (А. Г. Иванов // ДАН СССР. 1985, т. 285, № 2, с. 357–360);

- привлечь внимание разработчиков ядерных реакторов на быстрых нейтронах к необходимости исследования проявления МЭЭП на их продукции;

- рассмотреть возможность единого подхода в проблеме разрушения (А. Г. Иванов. Proc. of X Intern. Conf – High Energy Rate Fabrication. Ljubljana, Yugoslavia, 1989, p. 601–611; А. Г. Иванов // ДАН СССР. 1990, т. 310, № 4, с. 866–870);

- впервые описать процесс внедрения малых космических тел в атмосферы планет с позиции современной МР (А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский // ДАН. 1997, т. 353, № 3, с. 334–353);

- показать необходимость учета МЭЭП при разработке проекта “ЯВА” и эксплуатации камеры диаметром 12 м. О последнем свидетельствует обращение Ю. Б. Харитона к исполнителям.

Товарищам Иванову А. Г., Кириллову Г. А., Мохову В. Н., Тимонину Л. М., Чернышеву В. К.

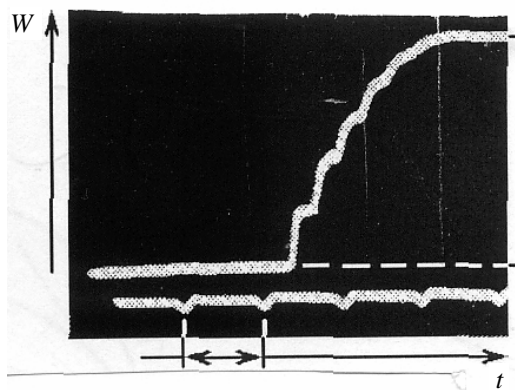
Дорогие товарищи,

вероятно, мое письмо не имеет смысла, и вы учли все, что следует. Но меня тупо грызет мысль: а вдруг кто-нибудь не учел все, что следует из сегодняшних данных об усталости металлов при многократных ударных деформациях, и произойдет несчастный случай при одном из взрывов в системе для получения алмазного порошка. Поэтому я буду очень признателен тем из вас, кто занимается работами, связанными со сколько-нибудь значительным количеством взрывов, производимых в закрытых сосудах, за информацию о том, насколько далеко вы или какая-либо организация, с которой Вы связаны, находитесь от опасной зоны.

*Ю. Б. Харитон
05.05.92*

В заключение несколько слов о причине резкого падения прочности сосуда при заполнении его водой. Так, сфероидные сосуды из одной и той же стали (22К), близких характерных размеров (1,5 и 2,0 м), относительной толщины и массы хрупко разрушаются при массе зарядов ВВ, отличающихся ~ в 13 раз! (0,57 кг и 7,5 кг).

Это различие в массе ВВ, разрушающих сосуды, могло быть и больше, так как сосуд, заполненный водой, хрупко разрушился на 5 фрагментов, а заполненный воздухом – всего на 2 осколка, что указывало на избыточную массу ВВ в сосуде с водой.



Квазистатический процесс нагружения

Очевидно, что малое количество ВВ, потребное для разрушения сосуда с водой, связано с пренебрежимо малой затратой энергии ВВ на сжатие жидкости, а сам процесс нагружения сосуда растянут во времени приблизительно на 100 мкс и носит квазистатический характер. Аналог вида такого нагружения приведен ниже на фото, записанный емкостным датчиком.

В сосуде, заполненном воздухом, основная часть энергии ВВ оказывается перекачанной в сжатый воздух. Этот эффект особенно ярко проявил себя в образовании “спутника”, при взрыве заряда ВВ в цилиндрическом вертикально стоящем сосуде, заполненном воздухом.

Очевидно, что влияние этого эффекта может существенно осложнить процесс создания камер взрывного термоядерного синтеза (Г. А. Иванов, Н. П. Волошин и др. Взрывная дейтериевая энергетика. Снежинск, 1996), и, по меньшей мере, он должен быть принят к сведению.

В. А. Рыжанский

Эпизоды участия отдела 0309 ИФВ в исследованиях в области безопасности атомной энергетики

Здесь рассказывается, почему большие сосуды из пластичной стали при взрывном нагружении иногда разрушаются хрупко, будто стеклянные; как иногда нужна “нить Ариадны”; как и почему на полигон рядом с часовым “спутник” упал.

Овладение энергией атома в мирных целях, в частности для решения назревших глобальных энергетических проблем, по праву относится к числу величайших достижений человечества. Можно гордиться тем, что родиной мирного атома был СССР, где в 1954 году была пущена первая в мире АЭС

(г. Обнинск). Опыт оказался вполне удачным, и атомная энергетика зашагала по миру. Она стала активно внедряться в различные отрасли экономики. Ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) оснащаются как АЭС, так и атомные станции теплоснабжения (АСТ), морские суда и космические аппараты. В настоящее время большинство промышленно развитых стран имеют АЭС различных типов, а во Франции им даже принадлежит ведущая роль, так как там около 80 % энергии вырабатывается на АЭС. При этом ЯЭУ используются не только для выработки электроэнергии или теплоснабжения. Они “оживляют” ранее безлюдные места, опресняют воду в пустынях, производят радионуклиды для нужд науки, техники, биологии, медицины и др. отраслей.

В процессе внедрения АЭС в мировую экономику совершенствуются ЯЭУ и средства управления ими, проводятся теоретические и экспериментальные исследования в области атомной физики и в иных областях науки и техники, относящихся к атомной энергетике. В результате разрабатываются и сооружаются реакторы принципиально разных конструкций. Так, наряду с реакторами на тепловых нейтронах, появляются реакторы на быстрых нейтронах (так называемые “быстрые реакторы”) с жидким натрием в качестве теплоносителя. Первый в мире промышленный быстрый реактор БН-350* (эл. мощность 150 МВт) был пущен в СССР в 1973 году (г. Шевченко, Казахстан). Затем последовали БН-600 (600 МВт, 1980 год, Белоярская АЭС, Свердловская обл.), а за рубежом – “Феникс” (Франция) и др. Проектируются и сооружаются новые мощные ЯЭУ – Горьковская АСТ (ГАСТ-500), БН-800 и БН-1600 (СССР), “Супер-Феникс” (Франция) и др. При этом определенное внимание уделяется и решению проблем безопасности как ЯЭУ, так и АЭС в целом. Таким образом, к концу 80-х годов мировая атомная энергетика и сопутствующие отрасли науки и техники активно развивались. АЭС функционировали устойчиво, без серьезных аварийных инцидентов. Аварии были узколокальными, их последствия устранялись в относительно сжатые сроки, а анализ причин и эффективность принятых мер способствовали развитию опыта безопасной эксплуатации АЭС.

Так было до 26 апреля 1986 года, когда произошла авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в результате взрыва 4-го блока.

Одним из трагических последствий этой беспримерной техногенной катастрофы был мировой кризис доверия к атомной энергетике и обусловленное этим резкое более чем 10-летнее замедление ее развития. Заморожено строительство реакторов БН-800 и ГАСТ-500, а также работы по реактору БН-1600, во Франции остановлен “Феникс” и решался вопрос о выводе его из эксплуатации. В США законодательно запрещено не только сооружение быстрых реакторов, но и их проектирование и т. д. “Реанимация” началась лишь в последние годы: например, в России сооружены и пущены Воронежская АСТ и Ростовская-на-Дону АЭС. Сейчас, оглядываясь назад, обидно сознавать, что Чернобыльской катастрофы вполне можно было избежать, если бы персонал ЧАЭС не проявил преступной безответственности, выразившейся в вопиющем пренебрежении элементарными общепринятыми нормами безопасности

* “БН” означает “быстрый, с натриевым теплоносителем”.

при эксплуатации АЭС. Но, как выяснилось позже, халатность проявил не только персонал ЧАЭС. Бывший специалист из ВНИИЭФ, доктор физико-математических наук В. Н. Минеев, с коллегами еще за 7 лет до Чернобыльской катастрофы направили письмо тогдашнему президенту АН СССР А. П. Александрову о необходимости мер по повышению безопасности советских АЭС, в частности, дооборудования их зданий защитными взрывостойкими колпаками*. Обращение осталось без ответа. Без ответа остались и подобные их призывы к председателю Госатомэнергонадзора СССР В. М. Малышеву десять лет спустя. И это после Чернобыля! Вот уж поистине: рыба гниет с головы. Тем не менее, какие-то уроки из происшедшего на ЧАЭС, разумеется, были извлечены.

Однако вернемся к периоду до Чернобыля, когда еще “гром не грянул”. Тогда на фоне в целом благополучной эксплуатации ЯЭУ, перспективы мировой атомной энергетики представлялись более чем благоприятными. Это было обусловлено повышением спроса на энергию и ростом стоимости традиционных невозобновляемых энергоносителей (угля, нефти, газа) при постепенном истощении их природных запасов и удалении новых месторождений от центров потребления. Кроме того АЭС при нормальной эксплуатации были относительно чистыми, так как не давали вредных выбросов в окружающую среду, в отличие от ТЭЦ и ГРЭС на химических видах топлива, использование которых, как известно, приводит к прогрессирующему заражению местности на десятки километров вокруг вредными и ядовитыми продуктами сгорания топлива (газами, аэрозолями и пр.).

Во всем мире знают академика Андрея Дмитриевича Сахарова. Он известен своими заслугами и как гениальный физик-теоретик, один из создателей ядерного щита Родины. Будучи еще сотрудником ВНИИЭФ, он и его коллеги однажды предложили суперидею: попытаться обуздать термоядерную энергию, чтобы использовать ее в мирных целях. Однако для воплощения в жизнь этого смелого замысла требовалось решить сложнейшие задачи по созданию реактора с достаточно прочным корпусом, способным удержать в себе термоядерный взрыв. Опыта по созданию крупногабаритных взрывостойких сосудов во ВНИИЭФ не было, поэтому обратились к специалистам Барнаульского котельного завода. Там по заказу ВНИИЭФ спроектировали и изготовили из котельной стали два крупногабаритных стальных котла высокого давления, внешне напоминавших колбы (так их и прозвали). Колба одного из типов была несколько вытянута в высоту и имела диаметр 1,5 м при толщине стенки 160 мм и высоте 2,25 м (вместе с горловиной). Ее и стал В. А. Синицын испытывать на взрывостойкость взрывами изнутри зарядов взрывчатого вещества (ВВ).

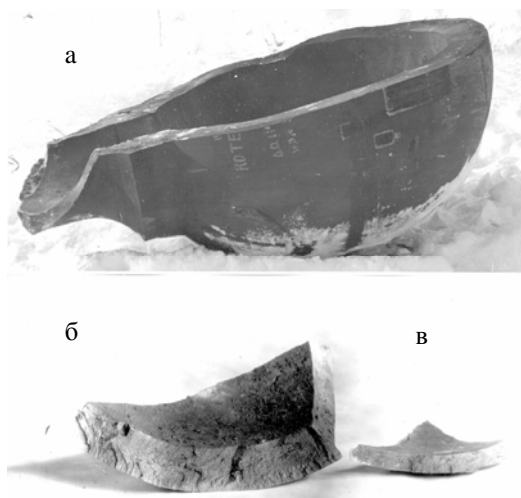
Опыты проводили при отрицательных температурах – дело было зимой. При этом изучалась реакция колбы. Конечной целью было определить массу ВВ, способного разрушить колбу при однократном нагружении. И вот, как говорится, в один прекрасный день, колба вдруг, когда этого никто не ожидал,

* В. Н. Минеев, В. В. Кореньков, Ю. Н. Тюняев. Назад, к Чернобылю? // Химия и жизнь. 1990, № 5, с. 3–7.

разрушилась. Однако неожиданными были не только разрушение, но и его хрупкий катастрофический характер: колба распалась, как стеклянная, пополам вдоль оси. Чтобы понять, в чем дело, изготовили из половинок копии колбы, уменьшенные в 5 и 15 раз, а природа продолжала удивлять: для их разрушения пришлось значительно (соответственно, в 8 и 17 раз) увеличить относительную массу ВВ*, хотя по законам сопротивления этот параметр должен оставаться постоянным. Иными словами, модели оказались существенно прочнее относительно их крупногабаритного прототипа. Так было впервые обнаружено резкое снижение взрывостойкости сосудов по мере увеличения их размеров. Результаты исследований А. Г. Иванова, В. А. Синицына и С. А. Новикова были опубликованы в журнале “Доклады АН СССР” (1970, т. 194, № 2).

В 1972 году лаборатория С. А. Новикова была преобразована в отдел 0316, в связи с поставленными крупными проблемами. Соответственно и В. А. Синицын переключился на решение новых задач. В “наследство” от него осталась одна большая колба. Около 10 лет она сиротливо простояла на площадке под открытым небом, пока однажды А. Г. Иванов не поручил мне исследовать ее взрывостойкость. Увидел я колбу и обомлел: диаметр 2 м, высота 2,5 м, вес 12,3 т. Вот это мастодонт!

В отличие от В. А. Синицына, испытывавшего “сухие” колбы, мне предстояло работать с колбой, заполненной водой, при нормальной температуре. Были и еще два отличия: колба была приплюснута по вертикали и толщина ее стенки была переменной – на экваторе тоньше, чем на полюсе. Приступили к опытам. Для начала провели серию опытов с “сухой” колбой при малых зарядах ВВ, чтобы, как у нас говорят, “прозвонить” ее, т. е. определить динамические характеристики, а потом сравнить с таковыми у колбы с водой. Массы ВВ не превышали 1 кг в тротиловом эквиваленте (ТЭ). Все шло благополучно, за исключением “мелочи”: чтобы поместить заряд ВВ в колбу, мне приходилось с помощью тали, вручную, пыхтя, вынимать тяжеленную пробку из горловины. И так при каждом опыте, несколько раз в день, до упаду. К счастью, серия “сухих” опытов, наконец, закончилась и можно было приступить к “мокрым”. Но вот вопрос: сколько ВВ заложить в колбу? А. Г. Иванов как раз был в командировке, и, учитывая, что колба уникальна, решили без его ведо-

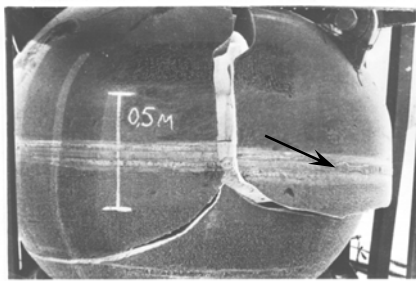


Фрагменты колбы (а) и моделей колбы масштаба 1:5 (б) и 1:15 (в) после взрывного разрушения (фото В. А. Синицына)

* Отношение массы ВВ к массе сосуда.

ма пока не рисковать и использовать самый малый заряд из тех, что и в “сухих” опытах.

И опять дело было зимой. Наполнили мы колбу теплой водой и произвели подрыв. Как и при “сухих” опытах, взрыва мы не услышали, но пол в каземате вдруг слегка всколыхнулся, будто упало что-то очень тяжелое, и послышался легкий стук в броневую стену. Взрывник (Ф. И. Цыпленков, царство ему небесное) произнес: “А колба-то, похоже, того-этого”. Я похолодел: “Не может быть, ведь заряд-то был малюсенький, всего 570 г ТЭ, специально, чтобы она уцелела. Ну, будет мне теперь от Иванова на орехи: так бездарно угробить уникальную камеру!” Правда, теплилась слабая надежда, что больно бить меня не будут, ведь я был тогда еще молодым специалистом. Выйдя на поле, мы увидели ее, сердешную, разбитую, как глиняный кувшин. Как-то странно было, что большущая и несокрушимая, на первый взгляд, конструкция из котельной стали (довольно пластичного металла, между прочим) треснула и рассыпалась, как стеклянная. Из осколков с тихим журчаньем вытекали остатки воды... Я испытывал смешанное чувство: с одной стороны худо, что она так рано разрушилась, а с другой – хорошо, что хоть не придется больше возиться с этой окаянной неприподъемной пробкой. Тут кто-то нашел возле броневой стены каземата маленький, с кулачок, осколочек колбы (это его стук по броне мы слышали). Я до сих пор храню его у себя на рабочем столе.



Хрупкое катастрофическое разрушение колбы с водой. Снято с противоположных сторон, горловина (сверху) не показана. Диаметр емкости 2 м, толщина стенки на экваторе 90 мм, на нижнем полюсе – 170 мм. Масса ВВ около 570 г ТЭ. Дата опыта: 5 декабря 1978 года. Стрелкой показано одно из мест разветвления трещины. Слева направо: В. В. Новиков, А. Т. Шитов, В. А. Рыжанский

Приехал А. Г. Иванов и вскоре вызвал меня к себе, как говорится, “на ковер”. К моему удивлению, он встретил меня с улыбкой, спросил: “Ну, рассказывай, что это ты там натворил?” (ему, конечно, уже было известно о результатах моего “эпохального” опыта). Я сначала трепетал, что-то лепетал, но, видя его доброжелательность, быстро успокоился, и мы обсудили ситуацию. Оказывается, А. Г. сразу расценил результат, как уже хорошо знакомое проявление сильного масштабного эффекта (в точности, как в опытах В. А. Синицына). Чтобы убедиться в этом, надо было испытать на взрывостойкость

уменьшенные модели колбы, что мы впоследствии и сделали (модели изготовили из осколков колбы). Результаты работы подтвердили и дополнили выводы В. А. Синицына об опасности проявления сильного масштабного эффекта, в данном случае пагубного для взрывостойкости стальных сосудов. Правда, было одно существенное отличие: у нас разрушение моделей было вязким, без полного разделения на части. В итоге получилась вполне приличная статья, одна из первых в моей жизни (“Физика горения и взрыва”, 1981, № 3, с. 102–108), а краткое сообщение было опубликовано даже в “Докладах АН СССР” (1981 г., т. 261, № 4, с. 868–873).

Позже А. Г. Иванов как-то показал мне в книге В. З. Партона “Механика разрушения. От теории к практике” (М.: Наука, 1990) описание весьма любопытного эпизода из жизни великого Галилея. Оказывается, однажды на его глазах, без видимых причин, внезапно разрушилась только что построенная галера, которая была абсолютным подобием обычной очень надежной галеры, но отличалась тем, что все ее элементы были вдвое большими. До конца своих дней он был озадачен этим случаем. Так и не найдя ему объяснения, он сформулировал закон, согласно которому в ряду машин, лишенных каких-либо несовершенств и отличающихся только размерами, при прочих равных условиях, **чем больших размеров будет машина, тем менее будет она прочна**. Надо признаться, мы испытали легкое потрясение. Вот это да! Оказывается, еще в XVII веке патриарх физики столкнулся с проявлением сильного масштабного эффекта, хотя и не понял его причин. Вот уж, воистину, справедливо говорят: новое – это хорошо забытое старое!

На этом мои исследования в области использования термоядерной энергии в мирных целях, в основном, закончились. А как же быть с сильным масштабным эффектом? Неужели бороться с ним бесперспективно? Оказывается, есть способы уйти от него. Одним из них является использование специальных конструкций или конструкционных материалов. Идея проста: в геометрически подобных объектах надо использовать несущие (т. е. воспринимающие нагрузку) элементы, базовый размер которых не изменяется с увеличением размера объекта^{*}. Как это часто бывает, найти решение помог его величество случай. Но при этом очень важно, чтобы рациональное зерно упало на подготовленную почву. В общем, дело было так.

В начале 1975 года к А. Г. Иванову и В. Н. Минееву обратились коллеги из отдела В. А. Цукермана в отделении 04 (начальник А. И. Павловский) с просьбой испытать на взрывостойкость трубы из диэлектрика, которым был так называемый ориентированный волокнистый композит-стеклоэпоксид, изготовленный путем спиральной намотки стеклоткани, пропитанной эпоксидной смолой. Эта задача возникла при сооружении крупногабаритного высоковольтного электроразрядника в стеклоэпоксидной оболочке – трубе, заполненной глицерином. А поскольку при электроразряде возникает ударная волна, оболочка подвергается импульсному нагружению, как при взрыве, но ее разрушение было, разумеется, недопустимо. Непосредственно к взрывным

^{*} Подробности см. в статье В. А. Рыжанского, В. Н. Минеева и др., опубликованной в журнале “Механика полимеров” (1978, № 2, с. 283–289).

работам были привлечены я и начальник группы А. Т. Шитов (ныне покойный), а от отделения 04 работы курировал начальник лаборатории кандидат технических наук А. П. Зыков (он же снабжал нас трубами). Учитывая уникальность установки, как же было не исследовать влияние масштабного фактора? Опыты проводили на уменьшенных моделях – разномасштабных трубах из того же стеклоэпоксида, отличавшихся размером (диаметром) в 4 раза. В опытах трубы заполняли водой (по гидродинамическим свойствам она близка к глицерину, но дешевле и доступнее) и в центре подрывали ВВ, доводя их до разрушения.

Заказчики были вполне удовлетворены результатами эксперимента, а вот мы немало озадачены: при разрушении труб сильный масштабный эффект отсутствовал! Проверяли еще и еще, но ошибки не было. Я и А. Т. Шитов смотрели друг на друга квадратными глазами и не знали, как идти к началству. А оно (А. Г. Иванов) довольно быстро нашло объяснение и, надо сказать, очень простое. По его теории, несмотря на разницу в размерах труб, диаметр несущего элемента в их материале – стекловолокна – не изменялся, значит, не было и причины для проявления сильного масштабного эффекта (в противном случае он бы обязательно “показал клыки”). Мы, конечно, опубликовали результаты нашего исследования. Позднее мои коллеги в аналогичных исследованиях взрывостойкости труб из иных ориентированных волокнистых композитов подтвердили правильность наших выводов. Результаты этих исследований имели и большое практическое значение, так как показали, что такие композиты бывают незаменимы в качестве материала для несущих элементов взрывостойких конструкций. Так, например, они обладают удельной прочностью в несколько раз большей, чем даже у сталей.

Однако вернемся к традиционной атомной энергетике. В начале 1976 года на Белоярской АЭС (БАЭС) заканчивалось сооружение быстрого реактора нового, интегрального, типа^{*} – БН-600, разработчиком которого было Опытное конструкторское бюро машиностроения (ОКБМ^{**}, г. Горький). Одновременно полным ходом шло проектирование более мощного реактора этого типа – БН-800. В процессе разработки реакторов обычно осуществлялось расчетно-теоретическое моделирование их устойчивости при разного рода аварийных проявлениях, в том числе в активной зоне. При этом в исходных данных расчетов задавались некие “аварийные” параметры и далее теоретически определялись последствия для реактора. Опаснейшим из них была бы аварийная разгерметизация корпуса реактора с выходом наружу радиоактивности или натрия. Такие аварии назывались гипотетическими или запроектными, и многие специалисты считали их нереализуемыми при нормальной эксплуатации реактора. Не вдаваясь в детали, следует указать, что в качестве одной из причин такой аварии рассматривалась и неконтролируемая импульсная (взрывоподобная) вспышка энерговыделения в активной зоне.

^{*} В реакторе интегрального (или бакового) типа активная зона, насосы и теплообменники первого контура расположены в одном корпусе (баке).

^{**} ОКБМ, как и ВНИИЭФ, входило в систему Министерства среднего машиностроения.

Теперь, после Чернобыля, мы, конечно, знаем, что аварийный перегрев и взрыв активной зоны реактора – вовсе не гипотетическая, а вполне реальная угроза его безопасности. Тем более такая опасность существует, и относится она к быстрому реактору типа БН. Это обусловлено, по меньшей мере, двумя причинами: во-первых, по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах, быстрые реакторы характеризуются большей напряженностью ядерно- и теплофизических процессов, а во-вторых, теплоноситель – жидкий натрий – обладает высокой химической активностью. В частности, он самовозгорается в воздухе, но тушить этот пожар водой нельзя, так как натрий в ней взрывается. Таким образом, натриевый пожар – один из худших аварийных вариантов. Очевидно, в случае аварийного импульсного энерговыделения важным барьером на пути развития аварии будет корпус реактора, который должен локализовать в себе опасные факторы (волны давления, радиоактивность, натрий и пр.), выход которых наружу по понятным причинам недопустим.

Именно в обоснование безопасности быстрого реактора типа БН-800 его разработчики решили определить взрывостойкость корпуса реактора. Однако не обладая собственными возможностями для проведения взрывных испытаний, руководство ОКБМ стало искать специалистов на стороне (куда оно только не обращалось!) и после долгих поисков вышло в начале 1976 года на ВНИИЭФ, в то время сверхзакрытый институт. Сначала на этом пути специалистам ОКБМ попало письмо в редакцию журнала “Атомная энергия” (1975, т. 38, вып. 4, с. 251–252). Авторами письма были сотрудники ВНИИЭФ В. И. Цыпкин, А. Г. Иванов, В. Н. Минеев и др. В письме сообщалось о результатах опытов по внутреннему взрывному нагружению геометрически подобных стальных цилиндрических сосудов, заполненных водой (исследовалось влияние масштабного фактора на их взрывостойкость). Результаты опытов показали, что с увеличением размеров взрывостойкость сосудов существенно снижается, и это явление, известное ныне как сильный масштабный эффект, необходимо учитывать при оценке аварийных ситуаций в химических и ядерных реакторах. Иными словами, при определении взрывостойкости сосуда по данным, полученным на его уменьшенных моделях, следует учитывать возможность пагубного проявления сильного масштабного эффекта, иначе проектные запасы прочности сосуда могут быть неоправданно завышенными.

Стоит ли говорить, как кстати была эта публикация? Во-первых, информация была, несомненно, полезным предупреждением для ОКБМ, как проектанта ЯЭУ. Но главное – наконец-то “появился свет в конце тоннеля”: оказывается, есть организация, способная помочь делу! Теперь, казалось, дело за малым: договориться с ней на взаимовыгодных условиях. Но не тут-то было! Найти эту организацию оказалось не так просто. По данным редакции журнала, письмо поступило из НИИ химфизики, что в Черноголовке Московской обл. (в те годы, по понятным причинам, этот институт был “крышей” для публикаций из ВНИИЭФ). Когда же, наконец, удалось выяснить, откуда, на самом деле, вышла публикация, в ОКБМ приободрились, ведь ВНИИЭФ – тоже из Минсредмаша, только в другом Главке, расположенном на соседнем этаже. Как же с ним связаться? Тут кто-то вспомнил, что начальником оборонного

отдела Горьковского обкома КПСС работает Лев Дмитриевич Рябев, выходец из ВНИИЭФ (вскоре он станет его директором). Решили обратиться к нему и не ошиблись. Оказалось, что он прекрасно знал соавторов вышеупомянутого письма, уже известного нам А. Г. Иванова и кандидата физико-математических наук В. Н. Минеева. Более того, последний был даже “однокашником” Л. Д. Рябева по МИФИ (учились в одной группе)! По его просьбе они прибыли в ОКБМ, и в течение буквально одного дня были составлены проекты “Технического задания” на проведение исследований и “Программы совместных работ”. Руководство ВНИИЭФ, в том числе главный конструктор Е. А. Негин (позднее он сменит Л. Д. Рябева на посту директора ВНИИЭФ), прозорливо оценило важность и перспективность новой задачи, и в мае 1976 года (за 10 лет до Чернобыля!) документы были официально утверждены. Излишне говорить, что ВНИИЭФ, обладая уникальной научно-технической базой, как никакой другой институт был приспособлен для реализации “Программы...”.

Экспериментальная часть работ проводилась в отделении 03 под общим руководством доктора технических наук, профессора Л. М. Тимонина (тогда и до недавнего времени – начальника отделения 03). Непосредственным руководителем работ был вышеупомянутый А. Г. Иванов, начальник отдела. Надо сказать, что в его отделе уже лет десять проводились экспериментальные исследования взрывостойкости разномасштабных сосудов различной геометрии, так что работы начались не на пустом месте и со знанием дела. Опыты проводились в лаборатории, возглавляемой сначала В. Н. Минеевым, а впоследствии – старшим научным сотрудником этой лаборатории В. И. Цыпкиным. В основных работах была занята большая группа сотрудников лаборатории, одному из которых, а именно автору этих строк, А. Г. Иванов предложил быть ведущим. Я глубоко благодарен Анатолию Григорьевичу, моему учителю, за это предложение, поддержку и постоянное внимание к работам. Впоследствии он был и руководителем моей диссертационной работы. Разумеется, определенный вклад внесли экспериментальный цех и полигонная служба отделения, а также его вспомогательные подразделения. Расчетно-теоретические исследования проводились в отделении 08 (начальник доктор физико-математических наук И. Д. Софронов) в лаборатории, возглавляемой сначала С. М. Бахрахом, а затем Н. П. Ковалевым.

Что касается ОКБМ, то с его стороны в работах активно участвовало подразделение прочности, возглавляемое кандидатом технических наук Вадимом Викторовичем Жуковым, и конструкторское подразделение, а общее руководство осуществляли руководитель и главный конструктор ОКБМ академик Ф. М. Митенков и его заместитель доктор технических наук О. Б. Самойлов. Специалисты ОКБМ осуществляли проектирование и изготовление основных объектов исследования, ряд расчетно-экспериментальных исследований их напряженно-деформированного состояния при статических нагрузках, а также курировали работы, выполняемые во ВНИИЭФ. Здесь нельзя удержаться от удивления: как, однако, переплетаются судьбы людей! Когда Ф. М. Митенкову принесли первый отчет о совместных работах, он увидел подпись Л. М. Тимонина на титульном листе и весело сообщил, что хорошо с ним знаком. Оказывается, они “однокашники”, так как в 1945–1950 годах учились в одной группе

на физическом факультете Саратовского госуниверситета. Потом их пути разошлись: Ф. М. Митенков поступил в ОКБМ, а Л. М. Тимонин – в КБ-11 (как известно, позднее преобразованное во ВНИИЭФ). Разумеется, оба были очень рады возобновить отношения. Таким образом, все шло к тому, чтобы сотрудничество стало плодотворным. Так оно и было.

Кстати сказать, автору этих строк посчастливилось близко познакомиться с вышеупомянутым В. В. Жуковым. Будучи человеком трудной судьбы, он оказался авторитетным специалистом, широко эрудированным и доброжелательным партнером, честным, порядочным человеком, общительным и остроумным собеседником, книголюбом, искусным музыкантом и талантливым рассказчиком, знающим массу всяких анекдотов и интересных историй, иногда забавных и всегда поучительных. Общение с ним духовно обогащало, доставляло истинное удовольствие, и я был им просто очарован. Поэтому неудивительно, что наши отношения, вначале чисто деловые, скоро переросли в настоящую дружбу. И до сих пор, вот уже почти 30 лет, несмотря на прекращение совместных работ, мы продолжаем дружить.

Как указывалось выше, уникальность и высокая стоимость реакторов типа БН-600, их циклопические размеры (диаметр около 13 м, высота около 26 м), естественно, исключали возможность проведения взрывных опытов непосредственно на них, поэтому речь могла идти только о модельных испытаниях. Поэтому “Программой...” было предусмотрено, прежде всего, исследование влияния масштабного фактора на взрывостойкость относительно малоразмерных геометрически подобных макетов и моделей реакторов, изготовленных из хромоникелевой стали (основной материал корпусов и иных элементов быстрых реакторов). Кроме этого, изучались прочностные характеристики этой стали при статическом и взрывном нагружениях, а также ряд иных вопросов.

На фото (с. 108) представлены крупногабаритные объекты, с которыми мне довелось экспериментировать: макет корпуса реактора и модель (1:10) реактора БН-800. Диаметр макета – 2,44 м, высота – 5,5 м, толщина стенки – 30 мм (сталь 12Х18Н10Т), заполняющая среда – вода, масса ВВ около – 78 кг. Диаметр модели – 1,3 м, толщина стенки – 3 мм (сталь 12Х18Н10Т), заполняющая среда – вода, масса ВВ – около 0,2 кг ТЭ.

По “Программе...” были проведены следующие исследования:

1. Изучение масштабных эффектов при взрывном разрушении моделей или макетов корпуса реактора.

2. Изучение физико-механических свойств корпусной стали при статическом и динамическом деформировании образцов в скоростных режимах, свойственных аварийным.

3. Изучение влияния особенностей внутреннего импульсного нагружения на поведение макетов корпуса реактора, а именно:

- характера и скорости импульсного энерговыделения (для корректной имитации аварийного энерговыделения в натуре);
- степени наполнения корпуса аналогом теплоносителя (водой);
- смещения очага импульсного энерговыделения от центра активной зоны (этот фактор может способствовать снижению взрывостойкости корпуса);



Макет корпуса реактора после взрыва. Участники опыта (слева направо): В. В. Жуков, В. И. Цыпкин, Г. Ф. Городов, А. Г. Иванов. 31 июля 1980 года



Модель 1:10 корпуса реактора БН-800 после серии взрывных нагружений. 15 декабря 1983 год

– внутриреакторного оборудования (этот фактор существенно влияет на параметры импульсного нагружения корпуса и, в конечном счете, на его взрывостойкость);

4. Изучение взрывостойкости моделей корпуса реактора типа БН-600 при детонации внутри них зарядов бризантного взрывчатого вещества.

5. Расчетно-теоретическое сопровождение экспериментов и сравнение расчетных данных с опытными для оценки достоверности и надежности разработанных методов численного анализа прочности корпуса.

6. Разработка методики оценки взрывостойкости натурного корпуса реактора типа БН-600 и его несущей способности в условиях запроектной аварии.

Важно отметить, что представленное на фото разрушение оболочки этой модели было явно преждевременным и произошло из-за дефекта, по-видимому, незамеченного при изготовлении. Этот случай, как и многие другие, показывает, как важен строгий технический контроль при изготовлении взрывозащитных конструкций. Дело в том, что в конструкциях, предназначенных для защиты от взрывов, дефекты, возможно, и не опасные при статических нагрузках, при импульсных (взрывных) воздействиях могут стать и, как видим, становятся очагами разрушения. Кстати, опыты показали, что опасными для взрывостойкости могут быть не только дефекты, но и нерацио-

нальная конструкция, содержащая элементы, приводящие к так называемой концентрации напряжений. К ним можно отнести горловины люков (в особенности с чрезмерно массивными крышками), опоры, трубы, приваренные к оболочкам, сварные швы и т. п. Это подтвердило правоту американского ученого Дж. Проктора, ранее получившего аналогичный результат (*Experimental Mechanics*, 1970, v. 10, № 11, p. 458–466). Поэтому, вообще говоря, создание взрывозащитных конструкций требует особой подготовки, навыков и технологии на всех этапах, от проектирования и до изготовления, с соблюдением высокого качества и обязательными испытаниями опытных образцов.

Надо сказать, мы и наши партнеры из ОКБМ очень дорожили сотрудничеством. Это и понятно, ведь обе стороны осуществляли уникальный эксперимент, дававший ценнейшую информацию. Поэтому неслучайно партнеры устроили для ведущих участников работ по “Программе...” от ВНИИЭФ экскурсию по БАЭС и ее 3-му блоку, сердцем которого был новорожденный БН-600.

До Свердловска мы долетели, а далее, до пос. Заречного, где расположена БАЭС, добрались на автобусе. После очень интересной экскурсии по первым двум блокам БАЭС (с реакторами на тепловых нейтронах) нас привели, наконец, в здание 3-го блока, где заканчивали монтаж БН-600.

Это было во второй половине октября 1978 года, накануне пробного пуска реактора. Членами нашей делегации были А. Г. Иванов, Ю. Н. Тюняев, А. Т. Шитов и я. К сожалению, В. В. Жуков не смог нас сопровождать и поручил это дело своему сотруднику А. П. Панфилову (впоследствии я с ним тоже подружился). О, это была незабываемая поездка! Право, стоит рассказать кое-что об этом. Вот один из эпизодов.



Делегация ВНИИЭФ на БАЭС (слева направо):
А. Г. Иванов, А. П. Панфилов, А. Т. Шитов, В. А. Рыжанский

Надо заметить, что организация экскурсии стоила устроителям очень больших усилий (особенно постарался В. В. Жуков, спасибо ему), так как доступ к БН-600 был чрезвычайно ограничен. И дело здесь не только в режимных барьерах (это-то как раз и понятно): на этой стройке соблюдался строжайший порядок, в частности, почти стерильная чистота. Реактор пока был открыт, и нельзя было допустить, чтобы в него попал хоть какой-нибудь посторонний предмет, даже мелочь, типа пуговицы, щепочки, бусинки и т. п. Поэтому перед входом в реакторное помещение нам приказали снять с себя все, до нижнего белья, и облачиться в спецодежду, лишенную карманов и деталей, способных случайно оторваться. И никаких авторучек, бумажек, монеток и т. п. – вообще ничего, очки – только на резинке, а курительные принадлежности – Боже, сохрани! Конечно, для нас это было необычно, поначалу удивительно и даже немного забавно. Перебрасываясь шуточками, мы исполнили все, что требовалось, и благополучно прошли контроль.

В сопровождении представителя ОКБМ на БАЭС, бывшего нашим гидом, мы вошли в освещенный солнцем реакторный зал с высоченными окнами и полом, покрытым каким-то пластиком, блистающим под лучами солнца. Чувствуем резкий неприятный запах: это строители тщательно протирают ацетоном стенки и все прочие элементы реактора (вообще-то, полагалось бы спиртом, но ведь его, по понятным причинам, не напасешься!). Реактор расположен под полом, но верхняя часть его, пока без крыши, выступает над полом на уровне груди, поэтому можно заглянуть в это огромное жерло. По его краям внутрь свисают металлические лестницы, и далеко внизу на дне, метрах в 15, копошатся люди, снующие вокруг насосов, теплообменников и активной зоны (разумеется, пока без активных материалов). В основном, это женщины. Они в респираторах и все тщательно осматривают и протирают, протирают... Во внутренних стенках реактора видны темные щели выше роста человека, через которые в недалеком будущем будет струиться жидкий натрий, охлаждающая активную зону и унося тепло для передачи его на энергоагрегаты. Все тут (и лестницы тоже) из нержавеющей стали и сверкает в свете ламп.

“А нельзя ли и нам вниз?” – спросил кто-то, и, получив разрешение гида, мы начали спуск по лестницам. А. Г. Иванов отказался и, наверное, был отчасти прав (хотя впоследствии, все-таки, сожалел, что не спустился с нами). У меня слегка кружится голова и замирает сердце, но вида не подаю. Под нашей тяжестью лестницы приняли, как говорят альпинисты, отрицательный наклон (слава Богу, небольшой), и мы спускаемся, кряхтя, почти вися на одних руках, так как с трудом удерживаемся на гладких перекладинах, с которых ноги постоянно соскальзывают. Да, труден спуск! Уф, наконец-то мы внизу, и можно перевести дух (каков-то будет путь вверх?). Послонились вокруг циклопических конструкций, по сравнению с которыми мы были, как цыплята, побродили между двойными стенками реактора, куда проникли через вышеупомянутые прорези... Пока все еще было ничего, хотя запах ацетона уже порядком надоел. И тут кому-то пришла идея залезть под реактор, дно которого тоже было двойным. А, была не была! Гид включил фонарик, и мы полезли.

Боже, да это же настоящие катакомбы, вернее лабиринт. Потолок так низок, что мы вынуждены передвигаться на корточках. Везде какие-то перего-

родки, на которые постоянно и больно натыкаешься (ведь все стальное!). Впереди тускло мерцает фонарик нашего “вождя”, который что-то увлеченно рассказывает первым... Но тут, видимо, и он наткнулся на что-то, потому что послышался приглушенный металлический стук, и фонарик погас. Воцарилась крошечная темнота. Чертыхаясь, гид возится с фонариком, чем-то позвякивает, но пока безуспешно. Кто-то сказал: “Да черт с ним, с этим твоим фонариком, выводи нас отсюда, Сусанин ты этакий!” Гид смущенно бормочет, что не сможет найти дорогу в такой темноте. Невольно подумалось: “А «нить Ариадны» вовсе не помешала бы! Если нас не найдут – вариться нам в натрии”. Ну, наконец-то! Фонарик вспыхнул, и теперь свет его кажется ослепительным. Мы благополучно выбираемся наружу и только там даем волю чувствам, шутя и подтрунивая друг над другом. После подъема наверх, не менее трудного, чем спуск, нас встречает А. Г. Иванов: “Куда вы там подевались? Я вас потерял”. Выслушав рассказ о нашем приключении, он добродушно посмеялся.

Реализация “Программы...” была завершена в конце 80-х годов. Насколько известно автору, аналогов столь обширных экспериментальных исследований, объединенных данной проблемой, ни в СССР, ни в России до сих пор нет. Некоторые из них были и остаются уникальными, поскольку потребовали усилий крупных научно-технических коллективов и значительных материальных и финансовых затрат, которые в настоящее время были бы недоступны. Многие результаты работ по “Программе...” были представлены научной общественности в трех кандидатских диссертациях, в том числе В. В. Жукова и моей (1987–1988 годы), и ряде публикаций, частью переизданных в США, например:

1. Ryzhanski V. A., Ivanov A. G., Timonin L. M. Steel shell response to misaligned HE charge explosion // Proc. X Intern. Conf. HERF-89. 1989. Ljubljana, Yugoslavia. P. 246–255.

2. Рыжанский В. А., Иванов А. Г., Усков А. А. и др. Имитация импульсного аварийного энерговыделения в активной зоне реактора // Атомная энергия. 1994. Т. 77. Вып. 2. С. 112–118.

3. Рыжанский В. А., Иванов А. Г., Жуков В. В. Методика оценки взрывостойкости и несущей способности корпуса быстрого реактора при запроектной аварии // Там же. 1994. Т. 76. Вып. 2. С. 87–93.

4. Рыжанский В. А., Иванов А. Г., Жуков В. В., Минеев В. Н. Взрывостойкость цилиндрической части корпуса быстрого реактора // Там же. 1995. Т. 79. Вып. 3. С. 178–188.

5. Рыжанский В. А., Иванов А. Г., Ковалев Н. П. и др. Реакция стального цилиндрического контейнера на внутреннее взрывное нагружение в зависимости от степени наполнения водой // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 4. С. 115–130.

Следует отметить, что участие ВНИИЭФ в исследованиях по проблеме безопасности атомной энергетики не ограничивалось рамками данной “Программы...”. После ее завершения была разработана и утверждена министром РФ по атомной энергетике “Общая программа работ ВНИИЭФ по обеспечению безопасности атомной энергетики” (1992 год). Однако по ряду причин, в

основном из-за недостаточного финансирования, ее экспериментальная часть, к сожалению, не была реализована. Очень хочется надеяться, что создатели реакторов вернутся к активному сотрудничеству с ВНИИЭФ, уникальные возможности которого для проведения теоретических, вычислительных и экспериментальных работ прекрасно зарекомендовали себя во всем мире.

В заключение можно констатировать, что полученные экспериментальные данные оказались полезны и для направлений, не связанных с атомной энергетикой. Так, исследования нержавеющей стали показали, что, кроме коррозионной стойкости, она обладает еще рядом ценных свойств и при взрывном нагружении, в частности высоким уровнем динамической пластичности и вязкости. Это позволило успешно использовать ее в конструкциях взрывозащитных камер. Примером является транспортабельная высоконадежная камера “Колба”, способная локализовать в замкнутом объеме импульсное выделение энергии, эквивалентное взрыву до 200 кг ТНТ. За это крупное достижение создатели камеры, в том числе и А. Г. Иванов, были удостоены Государственной премии СССР (1985 год). В ее экспериментальной отработке автор также принимал участие, и в этой связи вспоминается один случай. Дело прошлое и, как говорится, теперь об этом можно рассказать.

При разработке “Колбы” была применена двухслойная конструкция ее несущей оболочки, где наружный, силовой, слой состоял из стеклопластика, а внутренний – из той самой нержавеющей стали. Возникла идея разработать еще и второй, запасной, вариант “Колбы” с полностью стальной оболочкой (впоследствии от него отказались, так как первый, двухслойный, вариант успешно прошел основные испытания и вполне оправдал себя). По размерам она была близка к макету реактора (фото на с. 108). Поэтому пробный опыт решили провести на таком же макете, нагрузив его для начала взрывом заряда массой около 110 кг ТЭ. Ранее в рамках вышеупомянутой “Программы...” проводили подобные опыты с такими макетами, но масса заряда была поменьше, и они заполнялись водой (для имитации жидкого натрия). На этот же раз макет был без воды. По моим расчетам, оболочка должна была выдержать взрыв, и все дело было в крышке, приваренной к оболочке. Мы знали, что при взрывах в макете с водой крышку часто отрывало, однако она взлетала невысоко и падала неподалеку – всего в нескольких метрах. Вот и подумали, что и в опыте с воздухом, крышка, если и оторвется, то далеко не улетит. Главное – не дать ей упасть на каземат: все-таки она почти 2,5 м в диаметре и весит около 2 т. На всякий случай привязали ее стальными канатами к массивным железобетонным блокам на краю рабочего поля, с тем расчетом, что если они и порвутся, то хоть направят ее в нужном направлении – в лес.

Дело было 18 сентября 1980 года. Этот день я не забуду никогда. Стояла чудесная солнечная погода, и противных докучливых мух и комаров уже почти не было (их сезон был позади). По соображениям безопасности, опыт проводили после 17 часов, когда на площадке не было людей, кроме диспетчера, конечно (без него проведение каких-либо работ на площадке не допускается). После подготовительных работ основная часть рабочей группы была отправлена домой, и на опыт осталась минимальная группа опытных мастеров взрывного дела. Это были руководитель опыта, исполнявший обязанности

начальника отдела* Л. В. Васильев, заместитель начальника отдела В. П. Дракин, взрывник Г. И. Безруков и я, помощник взрывника и автор постановки опыта. Мы заперлись в каземате, и Васильев проворчал: “Как хотите, но я чувствую, что будет неприятность. Гляди, Рыжанский, ежели что-то такое случится, тебе не поздоровится! И ты, Дракин, гляди!” Мы, как могли, успокаивали его, хотя, признаться, и я чувствовал себя немного не в своей тарелке: как-никак, центнер мощной взрывчатки – это не шутка. Наконец, мы сообщили диспетчеру, что готовы. Он приказал солдатам, охранявшим удаленные от рабочего поля объекты на площадке, укрыться под бронеколпаками (для защиты от осколков), после чего, как и положено, дал звуковые сигналы. Дважды взвыла сирена, мы включили приборы, и взрывник нажал кнопку подрыва.

Всколыхнулась земля, содрогнулся каземат, раздался грохот, и все поняли, что макет, наверное, все-таки разрушился (в противном случае звук был бы потише). Безруков внешне спокоен, даже доволен: для взрывника главное, чтобы после нажатия кнопки раздался взрыв (“был звук”, как мы шутим). Он сообщил диспетчеру, что опыт закончен. Молча выходим на поле и видим, что макет наклонился, оболочка его цела, дно выпучилось, но осталось приваренным к оболочке, а на месте крышки чернеет закопченная дыра, из которой курится серый дым. Солнце клонится к горизонту. В воздухе чувствуется сильный запах гари и аммиака. А где же крышка!? Пошли к блокам, к которым она была привязана. Куда там! Канаты порваны, как нитки, их обрывки валяются тут же, а крышки нет, как нет. Обошли лес вокруг поля в радиусе 150–200 м от макета до самого болота, но так ничего и не нашли. “Я знал, я чувствовал, – ворчит Васильев. – Рыжанский, где эта твоя чертова крышка!?” – “Моя крышка, слава Богу, на месте, – отвечаю, – а вот крышка макета, скорее всего, в болоте, неподалеку. Не могла же она улететь так далеко. Ничего, завтра с утра найдем, если в болоте не утонула”. Дракин тоже: “В самом деле, Леня, что ты психуешь. Видишь – вечереет? Поехали домой: утро вечера мудренее, завтра и продолжим”. Тут раздается звонок от диспетчера: “Как дела, что это вы там застряли?” Мы сообщили, что все нормально, вот только крышку пока не нашли.

Делать нечего, вернулись к машине, ждем диспетчера. А вот и он показался. Но почему он размахивает руками, и что это он там такое кричит? Подошли к нему, а он взволнованно: “Позвонил один солдат, но он так заикался, что я еле-еле его понял. Он сообщил, что метрах в 10 от него с ужасным воем спутник упал! Землю под ним потрянуло, да так, что он едва усидел под бронеколпаком! И вот только-только решился выйти”. Немая сцена... А между прочим, от места взрыва до солдата по прямой около 400 м. Казалось, кожа у меня на спине одеревенела от ужаса: я-то понял, что это был за “спутник”, и что было бы, упали он на этот, с позволения сказать, бронеколпак (“консервную банку” толщиной 10 мм)! А солдат сидит под ней и думает, что он в безопасности (блажен, кто верует – тепло ему на свете!).

Что тут было! Как кипел Васильев! У него, видимо, не было слов, кроме: “Я же чувствовал! Я же знал! Я же предупреждал!” Мы только поеживались

* Начальник отдела, А. Г. Иванов, был в отпуске.

под его колючими взглядами, понимая, что надо дать ему “выпустить пар”: уж кто-кто, а он-то в первую очередь был, фигурально говоря, в 10 метрах от тюрьмы... Да, воистину путь науки тернист и каменист! Позднее, после обработки экспериментальных данных, я установил, что крышка, оторванная взрывом, круто взлетела примерно на 800 м, да и улетела к солдату. Еще бы чуть-чуть и... Но почему результаты опытов с водой и воздухом так разительно отличались? Позднее, они положили начало специальному расчетно-экспериментальному исследованию взрывостойкости макетов, в разной степени наполненных водой. Его результаты частично дали ответ на этот вопрос (мы их опубликовали в журнале “Физика горения и взрыва”, 2000, № 4, с. 115–130).

Все дело оказалось именно во влиянии среды, заполнявшей макеты. Ответ на этот вопрос содержится и в очерке А. Г. Иванова “Масштабные эффекты энергетической природы. Их ведущая роль при хрупких разрушениях”, где рассмотрена природа резкого падения веса ВВ (до 13 раз) при разрушении сосуда, заполненного водой в сравнении с аналогичным сосудом с воздухом. В цилиндрическом сосуде с водой, если сохранилась его цилиндрическая часть при отрыве крышки, последняя ускоряется с массой воды, равной почти половине ее! Поэтому оторванная крышка падает рядом с сосудом! При отсутствии воды оболочка, выдержавшая взрыв, почти всю энергию перераспределяет на края – дно и крышку. Но дно упирается в неподатливое основание и, благодаря этому, выдерживает взрыв, остается с оболочкой. В результате почти вся энергия взрыва ВВ воздействует на крышку и связь ее с оболочкой не выдерживает, разрушается. Сжатая газообразная среда в макете расширяется и продолжает длительное время эффективно воздействовать на крышку, разгоняя ее до высокой скорости. Таким образом, реализуется метательный, своего рода “пушечный”, эффект, который мы тогда не учли по незнанию. Сейчас-то мы, конечно, умеем так конструировать взрывозащитные сосуды, чтобы подобных происшествий не было. Научились, а как же иначе.

А. Г. Иванов

Игра в одни ворота

Во второй половине 20-го столетия резкий рост хрупких разрушений различных конструкций явился следствием увеличения их характерных размеров, использованием металлов с высоким пределом текучести, эксплуатацией их в области более низких температур и при повышенных скоростях нагружения. Все это показало, что традиционные критерии разрушения сопротивления материалов (СМ) требуют пересмотра. Была развита механика разрушения. В основе ее была заложена пионерская работа Гриффитса, описавшая разрушение хрупких материалов. Последующие работы Ирвина, Орована и др. позволили расширить ее применение и на пластичные металлы. Было показано, что хрупкость, или пластичность, материала в сильной степени за-

висит, при прочих равных условиях, от размера конструкции и условий ее эксплуатации. Наиболее существенным достижением при описании разрушения материалов, в частности в области их хрупкости, явилась смена причин, вызывающих разрушение.

Если критерии разрушения СМ основывались на достижении критических величин напряжения или деформации, то в линейной механике разрушения (ЛМР) разрушение как акт разделения целого объекта на части путем прохождения хрупкой трещины описывается как совершение работы за счет использования накопленной в объекте упругой энергии деформации (УЭД). Таким образом, необходимым условием разрушения являлось наличие в рассматриваемом объекте заведомо достаточного, даже избыточного количества УЭД. При этом предполагалось, что в рассматриваемом объекте велико количество дефектов структуры, и по мере роста УЭД находится наиболее крупный и удачно расположенный дефект, который переходит в неустойчивое состояние, вызывая быстрое (скорость сравнима со скоростью звука в материале) развитие хрупкой трещины. Так как факт появления ее оказывается неожиданным, необъяснимым с позиции СМ, процесс разрушения, как правило, вызывает катастрофические последствия. Так, в работе Г. П. Черпанова “Механика хрупкого разрушения” (М.: Наука, 1974. С. 197) читаем: “Прочность конструкции всегда представляет собой некоторую случайную величину, так как, во-первых, точное расположение всех дефектов заранее неизвестно, а, во-вторых, если бы это расположение и было точно известно, решение соответствующей математической задачи было бы невозможно из-за ее сложности”.

Таким образом, условие “достаточности” для начала разрушения, даже если известно, что объект хрупкий, найти не так просто. Но есть все же упрощающие обстоятельства. Так, у Б. Л. Авербаха* читаем: “Разрушение всегда связано с действием нормального растягивающего напряжения”. К аналогичному заключению приходят и другие авторы.

Ко времени выхода статьи Г. П. Черпанова “О разрушении трубопроводов” (ДАН СССР. 1983. Т. 272, № 3. С. 590–593) из наших работ однозначно следовало, что главная причина таких разрушений – проявление МЭ энергетической природы. В статье была рассмотрена вспомогательная задача, использован инвариантный Г-интеграл, найдено необходимое условие надежности. В заключение автор отмечает, что “в это условие входят шесть независимых безразмерных параметров, поэтому его практически невозможно получить при помощи ЭВМ”. Вот так!

Вопрос о том, какова же главная, определяющая причина многокилометровых разрушений трубопроводов, оказался без ответа.

Приняв во внимание, что в нагруженной изнутри трубе максимальные растягивающие усилия отвечают окружному напряжению, и с достоверностью можно утверждать, что в многокилометровой трубе условие достаточности априори будет выполнено при действии окружного напряжения.

* Б. Л. Авербах. Некоторые физические аспекты разрушения // Разрушение. М.: Мир. 1973. Т. 1. С. 471–504.

Таким образом, условие надежности трубопровода в отношении внезапного разрушения, сведется только к требованию выполнения необходимого условия, т. е. затраты работы по прохождению трещины разрушения должны быть больше запаса УЭД в его стенках, т. е. $\int_V qdv < \int_S \lambda ds$. Другими словами,

должно выполняться условие

$$P < \frac{h}{R} \left\{ \frac{E\lambda}{\pi R(1-\nu^2)} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где P , h , R , E , λ и ν – соответственно давление в трубопроводе, толщина и радиус трубопровода, модуль Юнга, удельная на единицу поверхности работа прохождения трещины и коэффициент Пуассона.

Условие (1), по существу, получено из требования недопущения масштабных эффектов энергетической природы. Найденное в работе Г. П. Черепанова условие неразрушения при пренебрежении членами 2-й и 3-й степени малости совпадало с (1).

По материалам анализа работы Г. П. Черепанова “О разрушении трубопроводов” в журнал ДАН СССР в 1984 году была направлена статья А. Г. Иванова “О природе катастрофических разрушений трубопроводов”, представленная академиком Е. А. Негиним.

В конце декабря 1984 года автором был получен ответ из редакции. Из отзыва рецензента на статью А. Г. Иванова: “Нужно убрать рассуждения дискуссионного плана, не принятые в ДАН, отказаться от излишнего наукообразия за счет конкретности”. Некоторые абзацы были отмечены на полях волнистыми линиями. Что отвечать? Ответ на нескольких страницах выглядел как оправдание. Как доказать, что ты не верблюд? Показал Негину Е. А. Он написал: “С мнением тов. Иванова А. Г. согласен. Акад. Негин Е. 22.01.85 г.” Второя рецензия пришла уже в адрес Негина Е. А. Вот она.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Редакция журнала
“ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР”

117864 ГСП-7 Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90, ком. 533, тел. 334-73-80

6 мая 1985 г.
Академику Е. А. Негину

Глубокоуважаемый Евгений Аркадьевич!

По поручению редакционной коллегии редакция направляет Вам отзыв на статью А. Г. Иванова “О природе катастрофических разрушений трубопроводов” с просьбой сообщить Ваше мнение по поводу замечаний рецензента.

С уважением
Отв. секретарь

Ю. А. Пашковский

*Отзыв рецензента на статью А. Г. Иванова
“О природе катастрофических разрушений трубопроводов”*

Необходимо переработать статью с тем, чтобы ясно и недвусмысленно ответить на вопросы, которые естественно возникают при чтении статьи. Это, например, следующие вопросы:

1. Правда ли, что механика разрушения в принципе не может описать разрушение трубопроводов?

2. Правда ли, что механика разрушения “не работает” в области пластичности?

3. Противоречит ли новый подход автора механике разрушения или совпадает с ней?

4. Не противоречит ли основное условие (2) здравому смыслу, не говоря уже об опыте?

5. Из (2) не вытекает основная формула статьи (6) (и не может вытекать в принципе). Чем автор объяснит подмену: в (2) величина V – объем конструкции, а в (6) – объем трубы единичной длины?

6. Почему на странице 4 предполагается $\nu/c \approx 0,1$? (На практике имеет место $\nu/c \approx 0 \div 1/2$). Второй член в (8), действительно, мал (роль инерции), но третий член в (8) может быть порядка первого члена (см., например, $\nu/c \approx 1/2$, $p = 10 \text{ кг/см}^2$, $E = 2 \cdot 10^4 \text{ кг/м}$, $h/R = 50$, $d = 10^{-5} \text{ 1/град.}$).

7. Почему бы не сослаться на статьи:

а) А. Ишлинский. Мир механики – мир движения // Правда от 22.05.76;

б) Г. Черепанов. В энциклопедиях не значится // Правда от 03.09.84.

О Т В Е Т

*автора статьи на 2-й отзыв рецензента по статье
“О природе катастрофических разрушений трубопроводов”*

Рецензент сформулировал 7 вопросов, которые “...естественно возникают при чтении статьи” и рекомендовал “переработать статью с тем, чтобы ясно и недвусмысленно ответить” на них.

Обратимся к статье и попытаемся понять, действительно ли такие вопросы возникают при ее чтении? Рассмотрим их в порядке очередности.

1. Вопрос не возникает при чтении рассматриваемой статьи. В статье недвусмысленно показано, что с точностью до величин 2–3-го порядка мало-сти решение, полученное методами механики разрушения в работе [1], и решение, найденное с использованием феноменологии [2, 3] в рассматриваемой статье, совпадают (см. с. 4 статьи)*. Поэтому вопрос № 1 не возникает при ее чтении.

2. Вопрос также не возникает при чтении статьи, так как суть вопроса не обсуждается и не затрагивается в ней. В заключение статьи указывается, что двухстадийный энергетический подход к проблеме разрушения, сформулированный в работах [2, 3], позволил также описать и динамические

* Здесь и далее ссылки на рукопись статьи. – Прим. авт.

разрушения в области глубокой пластичности и даются ссылки на работы [5, 9, 10]^{*} (см. последний абзац статьи) и только. Без какого-либо обсуждения возможностей механики разрушения в этой области.

3. Вопрос 3, поставленный рецензентом, выходит за рамки задач рассматриваемой статьи. В статье использована феноменология разрушения, ранее опубликованная в работах [2, 3]. Из этих работ читатель, при возникновении такого вопроса, может получить соответствующую информацию. Краткая характеристика сути этой феноменологии дается на с. 2, абзац 1.

4. Условие [2], как это было показано автором в работах [5, 10], а также французскими исследованиями в работах [9, см. с. 1)^{*)}], не противоречит опыту. Более того, оно позволило впервые описать динамический пик пластичности у мягких сталей, а также непротиворечиво объяснить природу спадающей ветви зависимости деформации разрушения от скорости деформации для некоторых материалов [5, 9, ^{*}]. В рассматриваемой работе использование уравнения (2) позволило получить решение (б) и указать главную причину катастрофических разрушений трубопроводов – масштабные эффекты энергетической природы. Использование же таких понятий, как “здравый смысл”, “интуиция” и т. п., вряд ли оправдано в научных вопросах. Что же касается физической сути неравенства (2), то эта информация также содержится в статье (см. с. 3, абзац 2). С учетом изложенного выше, вопрос 4 не возникает при чтении статьи.

5. И пятый вопрос не возникает при чтении статьи. Действительно, рассмотрение не всего объекта, а его единичной длины обычный прием при условии симметрии задачи и никакой “подмены” автор не делал. Более того, в статье не оговариваются конкретные единицы измерения, поэтому за единицу длины может быть принята любая длина, в том числе и длина трубопровода как целого.

Тогда из (2) сразу получаем

$$2\pi R\delta q < \lambda\delta. \quad (2')$$

Неравенство (2') совместно с (5) дает неравенство (б).

6. Вопрос, при непредвзятом отношении, не возникает при чтении статьи. Действительно, так как в статье рассматриваются не абстрактные хрупкие разрушения, а конкретные разрушения магистральных трубопроводов, для которых значение скорости трещин “достигает сотен метров в секунду” (см. [1] или первый абзац статьи), то при скорости сдвиговой волны (с) в стальной трубе 3,4 км/с, естественно для оценок принять $v/c \approx 0,1$. Если же принять $v/c \approx 0,5$, как это рекомендует рецензент, то следует допустить, что $v = 1,7$ км/с, а это не “сотни метров в секунду”, а км/с. Ну, а действительно ли, как утверждает рецензент, что при $v/c \approx 0,5$ третий член будет порядка первого? И в этом гипотетическом случае, при $R/h = 50$ **

^{*} См. также: M. Stelly, J. Legrand, R. Dorneval. Some Metallurgical Aspects of the Dynamic Expansion of Shells // Shock Waves and High Strain-Rate Phenomenon. N-Y; London, 1981, 113–125.

^{**} В рецензии ошибочно принято $h/R = 50$, что нереально для трубопроводов.

и других, приведенных рецензентом значениях величин, получим, что третий член составит всего 23 % от первого.

И в этом невероятном случае вряд ли можно третий член назвать “порядка первого”.

7. Статья Ишлинского посвящена обзору достижений и задач, стоящих перед механикой, статья Черепанова – пропаганде достижений механики разрушения. Темы обеих статей непосредственно не затрагивают физическую природу катастрофических разрушений магистральных трубопроводов. Поэтому вопрос о необходимости ссылки на эти статьи не может возникнуть у читателя.

Таким образом, вопросы, сформулированные рецензентом во 2-й рецензии не возникают при чтении статьи. Как следует из ответов автора на 1-ю рецензию, в статье отсутствуют также “рассуждения дискуссионного плана” и “излишнее наукообразие”, на которые, без каких-либо конкретных указаний, ссылался рецензент в первой рецензии.

Поэтому автор не находит оснований для переработки рассматриваемой статьи и надеется на положительное решение редакционной коллегии по поводу ее публикации.

А. Г. Иванов
10 июня 1985 года.

Ответ академика Е. А. Негина

В редакционную коллегию
журнала ДАН СССР

По поводу прохождения статьи профессора Иванова А. Г. “О природе катастрофических разрушений трубопроводов”, представленной мной 11.06.84 и направленной в редакцию в начале августа 1984 года.

1. Я ознакомился со второй рецензией, направленной тов. Пашковским Ю. А. в мой адрес с просьбой редакционной коллегии сообщить мое мнение по поводу замечаний рецензента.

Я ознакомился с ответами автора на эти замечания, согласен с ними и считаю, что тов. Иванов А. Г. в своей оригинальной работе, убедительно показав, что причиной катастрофических разрушений трубопроводов является неучет масштабных эффектов энергетической природы, поднимает вопрос чрезвычайной важности для народного хозяйства. Учитываются ли эти эффекты в явном виде в существующих нормах прочности при сооружении других ответственных конструкций? Если нет, то каковы фактические запасы прочности этих конструкций? Результаты рассматриваемой работы, по существу, являются следствием многолетних экспериментальных исследований автора с сотрудниками и позволяют по-новому взглянуть и критически осмыслить другие случаи непрогнозируемых разрушений, где эти эффекты могли иметь место.

Принимая во внимание важность поднятых в статье вопросов и приоритетный характер некоторых выводов, вновь подтверждаю свое мнение о необходимости публикации статьи.

2. Вызывает недоумение процесс рецензирования статьи. Так, вместо рецензии автора ознакомили только с выпиской из нее в 2 строки следующего содержания: "Нужно убрать рассуждения дискуссионного плана, не принятые в ДАН, отказаться от излишнего наукообразия за счет конкретности". Более неконкретной и формальной рецензии трудно придумать.

Во второй рецензии, направленной в мой адрес, рецензент, ни слова не обмолвившись об ответе автора на первую рецензию, в качестве примера приводит 7 вопросов, которые, по его мнению, могут возникнуть у читателя. Создается впечатление, что у рецензента имеются и другие вопросы. Почему бы их не сформулировать сразу и не в первой рецензии?

3. Вряд ли можно признать нормальным и факт длительной (более полутора месяцев) задержки в редакции первой рецензии на статью. Так, сопроводительное письмо к рецензии подписано 02.11.84 года, а отправлено в заказной бандероли только 19.12.84 года. Непонятно также отсутствие фамилии и инициалов получателя на конверте этой бандероли.

*С уважением
академик Е. А. Негин*

Статья была опубликована в 1985 году (т. 285, № 2, с. 357–360).

А. Г. Иванов

Премия

Успешное испытание ТЯ заряда РДС-37 в 1955 году и дальнейшая модернизация этого типа оружия с целью повышения его боевых характеристик позволили начать широкую программу вооружения им различных родов войск.

В конце 1958 года мною было сформулировано еще одно предложение по дальнейшей модернизации ТЯ зарядов. (В это время я исполнял обязанности начальника газодинамического отдела.) С ним я ознакомил начальника отделения 3 (тогда оно именовалось сектором 3) Н. А. Казаченко. Изложенное в письменном виде, это предложение было подшито в секретное дело отделения за I квартал 1959 года. С этим предложением в 1959 году я выступил на заседании расширенного научно-технического совета КБ-11, которое происходило в актовом зале у теоретиков. На совете присутствовал и мой первый начальник отдела А. Д. Захаренков, который в то время был начальником отделения или уже главным конструктором НИИ-1011.

Мое предложение основывалось на простом предположении, что рабочие характеристики некоторого прибора при плавном изменении положения одного из узлов его, как правило, также меняются без скачков. Это давало основание найти такое значение положения узла, при котором рабочие характери-

стики прибора примут оптимальные значения. Впоследствии заряды с такими параметрами называли “системой ВК”.

Широкие газодинамические экспериментальные исследования этой системы во взрывных опытах в последующие годы были проведены моим заместителем В. С. Кустовым и инженером Ю. В. Лисицыным*, которые подтвердили возможность реализации сделанного предложения. Результаты их исследований были изложены в двух секретных отчетах.

Несколько ранее я поступил в заочную аспирантуру при КБ-11 без отрыва от производства. Моим руководителем (до отъезда в Китай в 1959 году) был Б. Н. Леденев. Но широкий фронт плановых экспериментальных работ, развернутый после успешного испытания РДС-37, намеченные с ним исследования пришлось отложить. Нищая страна, потерявшая десятки миллионов людей во Второй мировой войне, приложила неимоверные усилия для достижения паритета с США по ядерному вооружению. За эти работы, наряду с коллективом сотрудников КБ-11, автор был отмечен Ленинской премией (Постановление СМ СССР от 22.02.62). Проведенные исследования этого периода позже частично легли в основу моей диссертации. Вскоре после отделения НИИ-1011, КБ-11 стал пополняться кадрами. В этот период в отдел пришли Олейник А. Г., Савинов Е. В., Макаров В. Д., Васильев Л. В., Новиков С. А., Минеев В. Н. и др.

Дошла очередь и до проверки предложенной мной ранее “системы ВК”. Основные газодинамические исследования подготовленного к полигонным испытаниям заряда этой конструкции, как и предварительные исследования, были выполнены главным образом В. С. Кустовым и Ю. В. Лисицыным.

Параллельно, независимо от КБ-11, заряд этой “системы” готовился к полигонным (полномасштабным) испытаниям и в НИИ-1011. Было одно существенное отличие. В заряде, подготовленном к испытаниям у нас, проверялось две идеи. Шла погоня за “двумя зайцами”.

Первоначально погоня шла за одним “зайцем”, поймав которого, планировалось заарканить и второго – проверить “систему ВК”.

При отправлении на полигонное испытание заряда НИИ-1011 “системы ВК”, членами экспертной комиссии от сектора 3 КБ-11 были С. Б. Кормер и я. При ознакомлении с материалами, представленными комиссии, С. Б. Кормер спросил меня: “А. Г., так это твое же предложение! Почему нет ссылки на это?” Я ответил, что не знаю. Справедливость была восстановлена. В НИИ-1011 “заяц” был один, он и был пойман.

Результаты испытаний по проверке “системы ВК” еще раз подтвердили народную мудрость: за двумя зайцами не гонись! Предприятию КБ-11 второго “зайца” не удалось заарканить, так как не догнали первого.

Спустя некоторое время из Комитета по изобретениям на наше предприятие для получения отзыва поступила в секретном виде авторская заявка на конструкцию “системы ВК”. Авторский коллектив заявки состоял из 10 человек, сотрудников НИИ-1011. После ознакомления с ней было принято реше-

* Ю. В. Лисицын учился в вечернем институте, филиале МИФИ, и успешно окончил его в 1956 г.

ние, для закрепления нашего приоритета по данному направлению, до написания отзыва на поступившую заявку от НИИ-1011, направить в Комитет по изобретениям заявку на “способ системы ВК”. Авторы этой заявки: Иванов А. Г., Кустов В. С., Лисицын Ю. В. Предполагалось после получения положительного решения от Комитета по изобретениям дать положительный отзыв предприятия и на заявку конструкции “системы ВК” предприятия НИИ-10–11. Однако спустя некоторое время из Комитета по изобретениям был получен ответ, что после поступления заявки на “конструкцию” заявка на “способ” по существующему законодательству не рассматривается.

В результате коллектив соавторов на конструкцию “системы ВК” по согласованию с НИИ-1011 был удвоен за счет сотрудников КБ-11. Авторское свидетельство № 57250 в несекретном виде было зарегистрировано 8 июля 1971 года с приоритетом от 21.11.69 года. От КБ-11 в число соавторов заявки, помимо А. Г. Иванова, В. С. Кустова и Ю. В. Лисицына, вошли также Е. А. Негин, В. П. Феодоритов, Д. М. Тарасов, В. М. Герасимов, И. М. Быструев, Н. А. Казаченко, И. Н. Чигаринов.

События развивались дальше так. Одной из целей создания НИИ-1011 в 1955 году, по-видимому, была организация творческого соревнования (или конкуренции) двух предприятий для достижения наиболее эффективных результатов. По этой причине успешное испытание зарядов “системы ВК” предприятием НИИ-1011 позволило им отстоять у руководства Главка и успешно выполнить ряд заказов. Это позволило их научно-техническому совету рассмотреть вопрос о выдвижении темы на Ленинскую премию. В то время авторский коллектив, выдвигаемый на эту премию, не мог превышать 6 кандидатов. Учитывая пионерские работы КБ-11 в этом направлении, одно вакантное место среди кандидатов было зарезервировано для представителя нашей организации. Эту информацию я неожиданно получил, будучи вызванным к главному конструктору предприятия Е. А. Негину.

Вопрос был поставлен в лоб. Кого представлять? Так как по положению эта премия присуждается конкретному соискателю только один раз, а я уже имел ее, то выбрать я должен был из сотрудников, внесших основной вклад в экспериментальное обоснование реализуемости “системы ВК”. Ими были Кустов В. С. и Лисицын Ю. В. Поторопившись, я сразу назвал кандидатуру Ю. В. Лисицына. Для меня выбор был однозначен. Последовал вопрос: “Кто такой?” Ответил: “Инженер, с 1952 года работал техником, окончил вечерний институт, один из наиболее опытных сотрудников”. – “Партийный?” – “Нет.” Будучи сам, по выражению Л. В. Альтшулера, “беспартийной вошью”, я понял, что для начальства это не проходная кандидатура. Конечно, позже я осознал, что совершил непоправимую ошибку. Мне надо было ответить: “Я подумаю и сообщу”. Ведь обычно в группу претендентов на Ленинскую премию включался еще партийный представитель “рабочего класса”, а здесь предлагался человек, действительно внесший весомый вклад в эту разработку, о чем свидетельствовало также его участие в попытке получения авторского свидетельства на “способ”, его фамилия фигурировала одной из первых среди 20 соавторов на “конструкцию системы ВК”.

Думаю, что не последней, если не главной, причиной отказа включения Ю. В. Лисицына, был проигрыш нашего предприятия на ряд разработок с “системой ВК”, полученной предприятием НИИ-1011.

Частично справедливость была восстановлена. В 2003 году ему была присуждена Государственная премия в области науки и техники, правда, к этому времени он перешел уже в мир иной.

Следует отметить, что несмотря на то, что почти вся его трудовая деятельность в отделе 09 была посвящена газодинамической отработке ядерных и термоядерных зарядов, большой вклад он внес и в изучение природы ударной поляризации широкого класса линейных диэлектриков. Его исследования в этой области носили как экспериментальный, так и теоретический характер.

Ю. В. Лисицын, необычайно скромный, эрудированный человек, завершил свою 35-летнюю трудовую деятельность летом в 1987 году в должности старшего научного сотрудника.



Коллектив лаборатории. Сидят: А. А. Клименко, Б. С. Калашников, Т. М. Фоломеева, Ю. В. Лисицын, И. Я. Морозова, А. В. Петражицкий. Стоят: В. А. Григорьев, А. А. Порфирьев, Г. Я. Карпенко, Б. Ф. Рождественский, К. А. Драгунов, Н. И. Крюков, Б. П. Дегтярев, В. В. Сорока, А. Г. Иванов, Л. И. Кочкин, В. Д. Фомкин, В. Н. Коннов, Е. С. Тюнькин, Ю. Д. Лавровский

Е. З. Новицкий

Приборы, люди, события ... и не только, или 30 лет работы в отделе 26(0309) сектора 3 (отделения 03)

Сколько себя помню, всегда испытывал нехватку времени, всегда я куда-то спешил, чтобы не опоздать, куда-то бежал, ехал, летел, приезжал, уезжал..., оглянуться назад не было времени. Когда мой “духовный” отец и учитель Анатолий Григорьевич Иванов обратился ко мне с предложением поучаствовать в подготовке книги об истории отдела 26, в котором я проработал под его руководством ровно 30 лет, я, конечно, не мог отказаться. Но тут случилось со мной все то же: цейтнот. Пожалуй, целый год я постоянно просил прощения, просил дать мне еще время, делал какие-то наброски, забрасывал их, и... все повторялось. Но всему бывает конец. Вот и я однажды сел за компьютер, собрал воедино все сделанные ранее наброски, решил расположить их хоть в каком-то хронологическом порядке, придать им форму небольших очерков, и в таком виде передал их на суд моему учителю.

Я ни в коей мере не претендую на полную картину становления и развития приборно-методической базы отдела 26. В очерках излагаются мои личные (субъективные) восприятия, оценки тех событий, свидетелем или прямым участником которых я был. Прошу только об одном: не обижаться на меня, если я кого-то нечаянно забыл упомянуть, это дело поправимое – дайте только знать мне об этом.

В отдел 26 (впоследствии отдел 09 сектора 3/отделения 03) я попал в сентябре 1959 году, когда прибыл на “объект” для прохождения преддипломной практики и выполнения дипломной работы после окончания пятого курса Московского авиационного института им. С. Орджоникидзе.

Большой неожиданностью для меня стало то, что о радиолокации и радиотелеуправлении (область техники, где сигналы измеряются микровольтами), чему меня обучали в институте, нужно было сразу забыть и срочно осваивать высоковольтную технику (здесь единицами измерения служат кило- и мегавольты). Скачок по напряжению – 10^{12} , по “железу” – поначалу просто невообразимый. Все другое, все новое, а защита дипломной работы – через полгода. Пожалуй, это был самый сложный период в моей жизни, и я сам до сих пор удивляюсь, что в марте 1960 года успешно защитился.

Азы высоковольтной техники я постигал в отделе 19 в высоковольтном зале сектора 3 под руководством А. А. Лукашева (руководитель моей дипломной работы). Кроме двух бывших фронтовиков (Л. П. Спасского и И. К. Саккеуса) и еще 2-3 сотрудников в возрасте, в отделе работали или мои ровесники, или ребята еще моложе меня. Со многими из них я сотрудничал потом на протяжении всего времени моей работы в секторе 3.

Как потом выяснилось, тему дипломной работы мне определил сам начальник отдела 26 Иванов Анатолий Григорьевич, исходя из насущных потребностей отдела: нужно было разработать надежный прибор для обеспечения задержки импульса рентгеновской трубки относительно импульса подрыва

ва изделия, характеристики которого изучались во взрывном эксперименте. Конечно, при этом я “не изобретал велосипед”, и в полной мере использовал наработки старших, опытных уже сотрудников сектора 6 (К. И. Желтова, В. Шахова и других). С ними, а также с В. А. Цукерманом, своим учителем, меня знакомил А. А. Лукашев. Кстати, я хорошо запомнил урок В. А. Цукермана. Когда я пришел к нему, редактору бюллетеня ОПИНТИ “Экспресс-информация”, чтобы получить добро на публикацию, он дотошно выпросил меня о сути работы (хотя он ее уже читал, я знал об этом), потом также дотошно выпрашивал меня, а хорошо ли я знаю (и знаю ли вообще) своих предшественников по этой работе, никого ли не забыл? Последнему он придавал особенно большое значение.

Вместе с тем выяснилось, что в отделе 26 давно существовала вакансия начальника группы прибористов, и я сразу после защиты дипломной работы был направлен в эту группу. Так была определена на многие годы вперед моя первая профессия – профессия прибориста. В группу входили А. М. Андреев, В. И. Лучинин, Г. С. Степанов, А. И. Ислентьев.

Хозяйство у группы прибористов было большим, разнообразным и нуждалось в срочной модернизации. Это касалось и систем подрыва изделий, и импульсной рентгенографии, и фотохронографии, и электроконтактной методики с использованием осциллографов и электроискровых регистраторов. Главными проблемами здесь были нестабильная работа систем подрыва от высоковольтных установок и пультов управления (одиночных и тройных) фоторегистраторов (СФР), низкая помехоустойчивость линейных (ОК-21, ОК-17) и спиральных (ОК-19, ИВ-22) осциллографов для измерения временных интервалов, иногда просто непредсказуемая работа многоканальной электроискровой установки на импульсных трансформаторах.

Первый наш крупный успех, достигнутый к началу 1962 года вместе с группой газодинамиков Б. С. Калашникова (Л. И. Кочкин, И. Е. Максимов, А. Лебедев), – это модернизация рентгеновской установки в казематах 1 и 2 площадки 2, включая модернизацию ГИНа, рентгеновской трубки, пульта управления рентгеновской установки, системы задержки и помехоустойчивой системы связи между казематами во время работы рентгеновской установки. Некоторые технические детали этой модернизации осветил в своих воспоминаниях В. И. Лучинин. Нужно сказать, что это была хорошо сделанная работа, в результате чего почти 20 следующих лет на рентгеновской установке проводились только профилактические работы.

Но если в модернизации рентгеновской установки могли и действительно нам помогали другие сотрудники отдела, то решение остальных приборных задач лежало целиком на нашей группе. Слава богу, что это видел и хорошо



Начальник отдела 26 Иванов А. Г.
(слева) и его заместитель Кустов В. С.

понимал А. Г. Иванов (он сам хорошо разбирался во многих вопросах электротехники и импульсной техники). Не только видел и понимал, но и постоянно “подбрасывал” нам в группу новых сотрудников. За 1960–1965 годы в группе работали, прошли преддипломную практику и защитили дипломы техника или инженера человек 10–12. Из их числа больше других внесли вклад в дела приборные и больше запомнились В. А. Янов, В. И. Перебатов, Н. П. Хохлов, О. А. Клещевников. “Жилка прибориста” была у всесторонне подкованного Ю. В. Лисицына из группы Б. С. Калашникова, только что закончившего вечернее отделение МИФИ, он постоянно помогал нам в работе своими ценными советами, причем делал это всегда охотно и абсолютно бескорыстно.

С приходом новых сотрудников расширялся круг решаемых задач. При этом мы исходили из того, что везде, где только можно, обычные электронные лампы (диоды, триоды и т. д.) должны быть заменены на тиратроны. К этому решению нас привел тот факт, что взрывные быстропротекающие процессы – однократные, так что система регистрации, “пропустив” один сигнал (полезный или пусковой), все остальные (последующие) сигналы должна “отсекать, блокировать”; а также особенности работы тиратронов: после срабатывания они достаточно долго восстанавливаются, и, таким образом, блокируют входные цепи системы регистрации. Постепенно мы модернизировали все осциллографы в казематах 1 и 2 площадки 2, в каземате 1 площадки 3. Это существенно повысило их помехоустойчивость и, в целом, надежность измерений временных интервалов. Такой же модернизации подверглись пульта управления СФР. Главным специалистом по пультам СФР и по системам подрыва в целом у нас был В. И. Лучинин.

Интересно, что многие новшества нам приходилось вводить иногда тайком от газодинамиков группы Б. С. Калашникова, которые всегда опасались того, как бы не стало хуже (лучшее – враг хорошего). Особенно это касалось единственной 50-канальной электроискровой установки, доставшейся отделу еще от ее “родителя”, Б. В. Войцеховского. Установка была выполнена им на импульсных трансформаторах, которые уже не выпускались. Ее берегли, к ней допускались только избранные. Эти чувства коллег-газодинамиков нам были понятны: напряженные планы испытаний, большая ответственность за их результаты; но наша уверенность в том, что хуже не будет, подталкивала нас на эти самые “тайные” действия. (Надо сказать, что подобные “тайные” действия в дальнейшем стали называться в нашем кругу “партизанскими”, и к ним приходилось прибегать не один раз на наших площадках и полигонах). В целом результат всегда был положительный, а удовлетворение – в основном, моральное. К счастью, мои сотрудники на это не очень жаловались.

Конец 1961-го и весь 1962-й год запомнились как непрерывный ударный труд во имя физопыта ФО-12. Это был грандиозный по своим масштабам облучательный наземный опыт, который проводился на знаменитом поле № 1 пункта “Ш” Семипалатинского полигона (на этом поле был взорван первый советский атомный заряд). Программа испытаний сектора 3, как часть программы КБ-1, была чрезвычайно насыщенной. Требовалось произвести мно-

гоканальные (до 150) измерения электроконтактным методом параметров ряда изделий через определенные промежутки времени после облучения. Эту задачу можно было решить только с использованием в опыте электроискровых установок. Тогда и было принято решение форсировать разработку электроискровой установки на тиратронах, которая велась И. К. Саккеусом уже несколько лет в отделе 19 сектора 3. Параллельно нашей группе было поручено в спешном порядке изготовить две малогабаритные 50-канальные электроискровые установки на импульсных трансформаторах нового поколения (на ферритах). До отправки на полигон в июле 1962 года мы провели испытания всех трех установок во взрывных экспериментах на площадке 3, и наши газодинамики остались довольны.

Самых больших усилий от нас при подготовке измерений на полигоне потребовала разработка полевого варианта пультов управления камерами СФР, системы подрыва облучаемых зарядов на поле, системы синхронизации всего измерительного комплекса. Надо сказать, что измерительный комплекс, рассчитанный на 150 каналов измерения, необходимо было вписать в объем около 10 м^3 , полезная площадь которого – около 5 м^2 . (Это был металлический короб с металлическим же трапом, который еще в 1949 году был зарыт на глубину 7 м на отметке около 90 м от эпицентра ядерного взрыва.) В то же время каждый пульт СФР имел объем примерно $0,9 \text{ м}^3$. Камеры СФР имели фокусное расстояние около 1 м и т. д. В общем, старые прибористы и газодинамики представляют себе, о чем я пишу, какие трудности мы преодолевали. К слову сказать, решение наших проблем во многом стало возможным благодаря активному участию в подготовке экспедиции специалистов цеха сектора 3 (М. В. Белкин, А. С. Лысый и многие другие) и служб снабжения сектора и института во главе с П. С. Колесниковым. Это сейчас может казаться удивительным, но тогда каждый стремился сделать свое дело как можно лучше и как можно быстрее, принимая его близко к сердцу. Наши заявки на самые диковинные приборы автоматики (их требовалось большое количество), реле, конденсаторы, трансформаторы и прочие комплектующие выполнялись оперативно и, я бы сказал, с большим желанием действительно помочь, быть полезным. Эти нормальные рабочие отношения с людьми из цеха, отделов снабжения сохранялись у нас потом очень долго.

Прежде чем попасть на сам опыт, мне лично пришлось пережить два острых момента. В феврале 1962 года на наш запрос о габаритах сооружений, в которых нам предстояло работать, с полигона пришел ответ, что чертежи многих подземных сооружений, в том числе и нашего, не сохранились. В марте была проведена рекогносцировка, но время для ее проведения было выбрано крайне неудачно: были уже сумерки, дул ледяной ветер, шел дождь со снегом. Офицер НИЧ (научно-исследовательской части полигона), который сопровождал меня (к сожалению, не помню ни имени его, ни фамилии), показал мне издали заледенелый бугорок, сказал, что там наверху люк, под люком трап, а внизу – наше будущее рабочее место. После этого он отъехал на газике от поля еще метров на 50. Я с трудом сначала открыл люк (его давно не открывали), увидел черный колодец, фонариком высветил, как мне показалось, лужу воды и начал спускаться. На самом деле это была не лужа, а маленький

бассейн, в который я рухнул, когда трап кончился. Уровень воды был выше колен, но ниже пояса. Мою кирзу залило в один момент, ватные штаны стали чертовски тяжелыми, а тело – ледяным. Делать было нечего, я рулеткой измерил длину и ширину сооружения – короба, долго измерял длину трапа, когда вылезал наружу (к ней потом мы прибавили мокрую часть моего тела), захлопнул люк, и на этом закончил свою рекогносцировку. Я уже не помню, что говорил офицеру, когда забрался в газик, но вряд ли это были ласковые слова. Справедливости ради надо сказать, что этот безымянный офицер сделал тогда для меня все возможное: быстро довез до пункта “Ш”, там стащил с меня кирзу и штаны, растер тело спиртом, остатки влил в меня, нашел где-то пару сухих стеганок, закутал меня, и в таком виде доставил в гостиницу на Берег.

В августе, когда мы еще только разгружали свой эшелон на рампе, меня увидел начальник НИЧ генерал Виноградов, подозвал и сказал, что будет настаивать на том, чтобы меня немедленно отправили домой. Оказалось, что в марте, во время рекогносцировки, я схватил дозу, значительно больше годовой (до сих пор не знаю, какую именно), но информация об этом не дошла до института. Спасло меня только то, что замены у меня не было.

Однако судьба приготовила мне, как ответственному за методику, и сектору 3 в целом другой, совсем уж тяжелый удар. Когда после опыта были проявлены фотопленки, все они оказались чистыми, за исключением одной – шлейфограммы. Контрольный шлейфовый осциллограф зафиксировал обрыв электрической сети в нашем и соседнем сооружении (там размещались измерительные приборы по методике В. М. Муругова) до начала регистрации процессов в облучаемых узлах. Все сразу стало ясно, но это никак нас не утешало, такого невезения никто из нас не ожидал. Попытки начальника нашего Главка, руководителя опыта Н. И. Павлова, ответственных исполнителей работ на поле и в сооружениях (А. А. Бриша, В. Н. Родигина и других) найти крайнего в НИЧ за потерю сети были, на мой взгляд, слабыми и результата не дали. Генерал Виноградов в разговоре со мной сразу после опыта изволил даже пошутить: “А помнишь, я хотел сразу, еще на рампе, отправить тебя домой? Зря не отправил”.

Конечно, мы проделали большую подготовительную работу, приобрели бесценный опыт работы на полигоне; мы знали, что часть узлов на поле только облучалась, но не подрывалась, эти узлы были извлечены и доставлены в институт для дальнейшего изучения влияния облучения на их работу в боевых условиях, но... это была заслуга уже других исследователей.

Не прошло и месяца после начала работы в группе прибористов, как меня направили в командировку, в ИХФ АН СССР. Здесь, в отделе Соколика (а позже и Двоеглазова), разрабатывался широкодиапазонный линейный осциллограф для аналоговых измерений по ТЗ сектора 3 (А. А. Лукашев). Мне было поручено курировать эту разработку, и это стало хорошей школой для меня, начинающего прибориста. Самое главное, что я извлек из общения с новыми знакомыми – не бояться лезть с паяльником в осциллограф, если тебе что-то не нравится в его работе. Они не один раз поступали именно так, когда я тыкал в ТЗ и говорил, что такой-то параметр не укладывается в заданное

значение. В ответ слышал: “Это мы с-с-счас!” Кто-то снимал кожух, кто-то брал в руки паяльник, одни детали срочно менялись на другие, и параметр принимал нужное значение. Мне оставалось только поставить галочку в документе по приемке осциллографа (приемка осуществлялась в несколько этапов; работа по усовершенствованию осциллографа по нашим замечаниям после испытаний на площадке 3 проводилась еще два-три года).

Я пишу сейчас об осциллографе ОК-33, который в свое время был определенно новым словом в импульсной технике. С оглядкой на профессионалов из ИХФ, мы с В. Яновым провели модернизацию своего парка линейных осциллографов ОК-21, ОК-25, ОК-17: помимо защиты входных цепей от помех с помощью тиратронов, ввели амплитудную калибровку, улучшили калибровку по времени. Появление в нашем приборном парке ОК-33, проведенная нами модернизация старого парка осциллографов – все это значительно повысило качество измерений во взрывных экспериментах на площадках 2 и 3.

После ряда усовершенствований ОК-33М окончательно вытеснил осциллографы ОК-21, ОК-25, ОК-17.

Практически сразу после защиты дипломного проекта в 1960 году А. Г. Иванов привлек меня к научной работе, которая проводилась факультативно, в “свободное от основных обязанностей” прибориста время (так это формулировалось). Первой была задача измерить температуру в плексигласе (полиметилметакрилат) за фронтом ударной волны с помощью нихромового проволоочного датчика. Все шло хорошо, но вот в одном из опытов я забыл включить в цепь датчика гальванический источник питания. К нашему удивлению, мы получили ту же осциллограмму, что и при включенном источнике питания. Стали готовить с В. А. Яновым серию опытов с плексигласом, как рабочим телом плоского конденсатора, без внешнего питания. И вот тут из-за событий, связанных с ФО-12, мне приходится сейчас домысливать события, случившиеся “дома” в том же 1962 году. Осциллограмму, полученную в опыте с плексигласом, А. Г. Иванов показал Ю. Б. Харитону (тогда это можно было сделать совсем легко), и в ответ получил часть материалов международной конференции по детонации, в том числе доклад Эйчельбергера и Ховера по полимерным датчикам давления. Это была первая публикация в мировой печати о поляризации линейных диэлектриков в ударной волне, и она произвела сильный резонанс в научных кругах, причастных к работам с ВВ.

Конечно, это подтолкнуло нас к активизации собственных систематиче-



Е. А. Негин и Д. А. Фишман на дружеском вечере в честь успешной защиты докторской диссертации А. Г. Иванова. 1965 год

ских исследований электрических сигналов в ударных волнах. Интересно, что когда А. Г. Иванов впервые доложил о результатах наших исследований на очередном заседании НТС сектора 3, то сразу выяснилось, что подобные сигналы наблюдали в разное время и В. А. Цукерман, и В. К. Чернышев, и В. Н. Лобанов со своими сотрудниками, но воспринимали их как помехи, от которых надо избавляться. А. Г. Иванов, напротив, увидел в этих сигналах нечто такое, что могло нести информацию о состоянии вещества за фронтом ударной волны. Он отнесся к этому “нечто” как к явлению, которое требует серьезного научного подхода.

Здесь мне хотелось бы немного отвлечься и сказать о том, что сам я считаю себя учеником доктора технических наук, профессора А. Г. Иванова, начальника отдела 0309. В то же время понимаю, что своим профессиональным ростом (и как прибориста, и как физика-экспериментатора) я в большой степени обязан той удивительной атмосфере свободы и доброжелательности в секторе 3, которую создавали на своих регулярных в 60-е годы семинарах такие мэтры газодинамики, как Ю. Б. Харитон, Я. Б. Зельдович, Е. А. Негин, Л. В. Альтшулер, С. Б. Кормер, В. А. Цукерман и другие. Эти традиции бережно хранили руководители всех рангов сектора 3, а мы, молодые тогда сотрудники, это ценили и стремились развивать эти традиции. Я всегда старался окружить себя умными, надежными сотрудниками, готовыми продолжать начатое дело. Сейчас некоторые из них сами стали руководителями – начальниками лабораторий. Назову только канд. физ.-мат. наук В. А. Борисенка, канд. физ.-мат. наук В. Д. Садунова, канд. техн. наук Б. М. Ловягина. В. А. Янов в 1967 году уехал в Алма-Ату и там сделал хорошую научную карьеру.

В предыдущем очерке я описал историю зарождения нового для сектора, института и, как потом выяснилось, для всего Советского Союза направления работ в физике взрыва – электрических явлений в ударных волнах.

Первый состав исследователей включал А. Г. Иванова (общепризнанный научный руководитель этих работ), В. А. Янова, Ю. В. Лисицына и автора очерка. По мере необходимости к экспериментам привлекались лаборанты-прибористы В. И. Перебатов, Н. П. Хохлов, О. А. Клещевников и др., техники-взрывники Г. И. Безруков, Ф. И. Цыпленков. Вскоре и мне пришлось стать взрывником. В таком составе, на факультативной основе, мы работали до середины 1964 года, пока в отделе не была создана лаборатория В. Н. Минеева, который возглавил исследования электрических эффектов в ударных волнах. С этого момента и до его отъезда на новое место работы в Красноармейск в 1977 году продолжалось творческое сотрудничество А. Г. Иванова, В. Н. Минеева, Ю. В. Лисицына, В. В. Новикова, автора очерка, закончивших вечернее отделение МИФИ Н. П. Хохлова и О. А. Клещевникова, выпускников МИФИ Ю. Н. Тюняева и Е. С. Тюнькина.

Приход в эту тематику В. Н. Минеева сильно активизировал работы. Взрывные эксперименты стали регулярными, и результаты не заставили себя ждать. За короткое время были повторены все эксперименты Эйчельбергера и Ховера. Не помню, по чьей инициативе, но была проведена серия опытов с кристаллами хлористого натрия, которая принесла сенсацию: при достижении

сжатия в УВ величины 1,3 положительный поляризационный сигнал становился отрицательным. Это стало предметом первой нашей публикации “Об аномальной поляризации хлористого натрия при ударном нагружении” (Письма в ЖЭТФ. 1965. Т. 2. Вып. 8). Американцы опубликовали подобную работу только год спустя, и в дальнейшем мы работали в этой области в условиях конкуренции.

Помню, как долго и с пристрастием меня и Янова, как прибористов, “пытал” А. Г. Иванов: нет ли какой приборной ошибки. И только после этого дал добро на публикацию. Вообще, в этих работах наш с Яновым опыт работы с приборами, продвинутый по тем временам приборный парк, насыщенный осциллографами ОК-33, оказались востребованными в работах по ударной поляризации на все сто процентов.

Помимо экспериментов А. Г. Иванов не забывал ставить перед нами задачи и расчетно-теоретического характера. Так, эксперименты Эйчельбергера и Ховера с водой, наши собственные эксперименты с водой навели его на мысль о том, что в этом случае за фронтом УВ формируется двойной электрический слой, и этот случай можно легко описать, если использовать его же теорию емкостного датчика, но ввести в сжатой зоне (за фронтом УВ) высокую проводимость. Эту задачу мы решили с ним довольно быстро, и в 1966 году она была опубликована в журнале ПМТФ. Это была первая отечественная работа на эту тему. Впоследствии теорию ударной поляризации развили Я. Б. Зельдович и Р. М. Зайдель. Историю о том, как Яков Борисович помогал нам двигать теорию, мы с А. Г. Ивановым рассказали в журнале “Квант”, посвященном 90-летию со дня рождения Зельдовича. Замечу еще, что Яков Борисович помог нам и в практическом плане: когда мы проявили интерес к исследованию ударной поляризации в “экзотических” кристаллах (после того, как мы обнаружили аномальный эффект в хлористом натрии), он, что называется, за руку привел нас к своей первой жене Варваре Павловне Константиновой, которая работала в лаборатории Л. А. Шувалова в Институте кристаллографии АН СССР. Это положило начало нашему долголетнему сотрудничеству с этой лабораторией.

Потом последовала большая серия публикаций нашего творческого коллектива в открытой печати (и параллельная публикация отдельных работ за рубежом), выступления на конференциях, начиная с Первого симпозиума по горению и взрыву в Черноголовке в 1968 году. Здесь мы познакомились с профессором Дреминым А. Н. и его сотрудниками. Его совсем молодой сотрудник, практикант МФТИ В. В. Якушев, впоследствии возглавил в филиале ИХФ все работы, связанные с электрическими эффектами в УВ. Очень скоро он стал ученым первой величины в своей области, но всегда, вплоть до своей смерти в 2000 году, с большим уважением относился к доктору А. Г. Иванову и всей нашей творческой группе.

Участие в симпозиумах всегда приносило удовлетворение и радость от общения с коллегами по цеху. Всегда здесь можно было увидеть и при желании пообщаться с Я. Б. Зельдовичем, Л. В. Альтшулером, другими маститыми и просто известными учеными на “большой земле”.



Два доктора с мировым именем в области физики взрыва – А. Г. Иванов и А. Н. Дремин (ИХФ АН СССР, Черногловка) – на экскурсии в Шлиссельбургскую крепость (Орешек). 1971 год

зубах, когда большая компания участников симпозиума пару часов “посидела” в погребе, где подавали только молодое вино и зелень. Ну, где еще я мог увидеть такое?

В Телави в 1988 году на очередном симпозиуме, на экскурсии в какой-то древний, но запущенный монастырь всем нам пришлось причаститься, бог знает, по какому поводу, и выпить по ковшику вина, заев лепешкой, которые тут же лежали большой горкой. Вино стояло на каких-то козлах в ведрах, а ковшик был один. Я шел вслед за Л. В. Альтшулером. Когда ему поднесли ковш с вином, он попытался быстренько спровадить его мне. Грузин виночерпий так на него посмотрел, что Лев Владимирович опорожнил его, по-моему, быстрее всех.



Участники II Всесоюзного симпозиума по горению и взрыву. 1969 год. Ереван. Слева направо: А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий, В. Н. Минеев, Ю. Н. Тюняев

Помню Второй симпозиум по горению и взрыву в Ереване в 1969 году. Во время посещения музея Мартироса Сарьяна Самуил Борисович Кормер сумел уговорить домоладцев хозяина (М. Сарьяна) устроить нам встречу. Нам говорили, что хозяин уже давно не показывается на публике, но, в конце концов, его привезли в инвалидной коляске, и мы услышали от него самую историю создания нескольких картин, которые висели в этом зале.

На следующий вечер героем дня опять был Самуил Борисович. Он лихо исполнил лезгинку с ножом в



III Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. 1971 год. Ленинград. Слева направо: А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий, Г. А. Ададунов (ИХФ АН СССР, Черногловка), В. Н. Минеев, В. Н. Лобанов



Во дворе Политехнического института нашли свежую копну сена, обрадовались, сфотографировались. Слева направо: В. Н. Зубарев, А. Г. Иванов, С. М. Бабадей, Е. З. Новицкий, А. А. Баканова, В. Н. Минеев. 1971 год. Ленинград



III Всесоюзное совещание по детонации. 1985 год. Таллин. Доктора И. В. Санин и Л. М. Тимонин, начальники газодинамических отделений в Челябинске-70 и Арзамасе-16

Таких и более курьезных историй можно вспомнить много. Но главное было, конечно, в другом: в общении, дискуссиях, которые давали импульс новым исследованиям, помогали объяснить экспериментальные загадки, которые то и дело случались в нашей работе. Радовало, что от симпозиума к симпозиуму растет число институтов, исследователей, занимающихся электрическими эффектами в УВ.

Рубеж 1971–1972 годов стал для меня памятным в связи с большой реорганизацией отдела 26. На партийную работу в горком партии ушел В. И. Ивановский, начальник лаборатории 3 (после отъезда А. А. Лукашева его отдел 19 был преобразован в лабораторию и введен в состав отдела 26). Лаборатория Новикова С. А. выделилась в самостоятельный отдел 16. Заняв по конкурсу должность начальника лаборатории 26/03, по согласованию с А. Г. Ивановым и С. А. Новиковым, я занялся формированием состава своей лаборатории. Большая часть сотрудников лаборатории по своему желанию перешла в отдел 16, а у меня появилось n -е количество вакансий.

В это же время становилось все более очевидным, что научные интересы А. Г. Иванова и В. Н. Минеева сдвигаются в сторону механической прочности материалов и конструкций, а мои собственные интересы – в сторону сегнетоэлектрических преобразователей энергии. С учетом этого и производился набор кадров в мою лабораторию и в лабораторию В. Н. Минеева. Тогда ко мне на новую тематику пришли М. В. Коротченко, В. А. Борисенок, В. Д. Садунов, Н. И. Крюков, А. С. Дементьев, В. А. Волгин, В. А. Кручинин, В. А. Огородников, Г. Я. Карпенко, С. И. Пинчук, А. В. Блинов, Т. В. Трищенко (некоторые из них потом “мигрировали” в лабораторию Л. И. Кочкина). Позже пришли К. Э. Рыбалов, В. Г. Симаков, В. А. Морозов, И. Г. Толстиков. Обязательно хочу назвать наших милых дам-техников З. М. Пучкову и Н. А. Филиппову, которые долгие годы были верными помощниками во всех делах и в секторе, и на площадках.

Главной удачей было то, что в моей лаборатории осталась группа А. А. Болотова (Б. М. Ловягин, А. А. Порфирьев, В. И. Перебатов и др.). Это позволило мне больше внимания и времени уделять своим научным интересам, полагаясь на опыт и ответственность команды Аркадия Александровича. С течением времени я стал вмешиваться в дела прибористов все меньше и меньше, и только тогда, когда требовалась моя помощь. Дело в том, что А. Г. Иванов не снимал с меня ответственности за дела приборные в отделе вплоть до моего ухода из отделения в 1989 году.

И хотя вторая серьезная модернизация приборной базы отдела проходила в период 1975–1980 годов под моим руководством, я не хотел бы о ней рассказывать. Думаю, Б. М. Ловягин, как основной архитектор и исполнитель этой модернизации, сделает это в своих воспоминаниях лучше меня.

В 1962–1971 годах основные исследования электрических эффектов проводились на так называемых линейных диэлектриках (включая взрывчатые вещества), полупроводниках и металлах. В 1968 году к нам в отдел пришел Г. И. Крашенинников, начальник отдела сектора 19, который занимался разработкой взрывных пьезогенераторов (ВПГ) для блока автоматики. Их преследовала нестабильность работы ВПГ, и они совершенно правильно пришли к мысли, что им не хватает информации о свойствах пьзокерамики (рабочего тела ВПГ) в ударно-сжатом состоянии. Перед нами была поставлена именно эта задача: изучить свойства керамики при ударно-волновом сжатии, начиная с ударной адиабаты. Так начались систематические исследования пьзоэлектрических материалов в ударных волнах.

Фронт работ расширялся очень быстро. Скоро стало ясно, что существует три основных класса электрически активных материалов: пьзо-, пиро- и сегнетоэлектрики; что все они, хоть и по-разному, в соответствии со своей природой, реагируют на внешние воздействия: механические (в нашем случае – УВ), тепловые (в нашем случае – проникающая радиация), электрические (электромагнитное излучение). Это открывало широкие возможности для их использования в качестве рабочего тела всевозможных устройств, как измерительных, так и исполнительных.

В 1972 году, если мне не изменяет память, Ю. Б. Харитон утвердил первое ТЗ на НИР “Пьзо-, пиро-, сегнетоэлектрические преобразователи энергии”, которое включало развитие работ по взрывным пьезогенераторам, пьезодатчикам, и становление совсем нового направления работ – пироэлектрические детекторы. Последнее, конечно, было несвойственно сектору, занимающемуся взрывом и ударными волнами, поэтому я до сих пор благодарен Анатолию Григорьевичу Иванову и Леониду Михайловичу Тимонину, начальнику сектора, за поддержку этого направления.

Примечательно то, что исследование пироэлектрических эффектов в полях импульсного ионизирующего излучения мы намерены были проводить не только на кристаллах, но и на пьзокерамических материалах, которые исследовались нами как рабочее тело ВПГ. В дальнейшем это служило хорошей основой для исследования вопросов радиационной стойкости различных устройств на основе пьзокерамики.

Основные усилия при выполнении этой НИР приходились на поиск наиболее эффективных кристаллических и керамических материалов; на исследование их свойств в ударной волне, в полях импульсного ионизирующего излучения на реакторах и линейных ускорителях отделения 4, в полигонных опытах; на разработку физических моделей исследуемых нами явлений и их математическое описание; на разработку методов измерения характеристик пирозлектриков в полях импульсного ионизирующего излучения.

Вместе с Г. И. Крашенинниковым мы еще в 1968 году установили хорошие контакты с профессором Ростовского-на-Дону госуниверситета Е. Г. Фесенко и его лабораторией (впоследствии Институт физики РГУ), с отделом Климова В. В. во ВНИИРеактивэлектрон (г. Донецк), с профессором Синяковым Е. В. в Днепропетровском госуниверситете. Здесь, судя по научной литературе, были наиболее продвинуты материаловедческие работы. Потом, уже после отъезда Г. И. Крашенинникова в НИИА, все заботы по поиску и разработке новых пьезо-, пиро-, сегнетоэлектрических материалов легли на меня, и надо сказать, это отнимало много сил и времени. Кроме названных выше и названного еще раньше Института кристаллографии, появились контакты с организациями Волгограда, Зеленограда, Харькова, Ленинграда, еще позже – Махачкалы, Баку, Риги, Киева, Еревана. Иногда в течение одной недели я мотался, например, по маршруту Арзамас-16 – Москва – Ростов-на-Дону – Донецк – Волгоград – Днепропетровск – Москва – Арзамас-16 (в Москве тоже, как правило, находились дела, и там тоже надо было с кем-то встретиться, куда-то заехать). Слава богу, что в те времена наш самолет летал регулярно, и по субботам тоже. Но вот в остальных пунктах, да еще особенно летом, достать билет на самолет было большой проблемой. Все это требовало больших усилий.

К этому прибавились выезды на полигон. Нам удалось заинтересовать Ю. А. Трутнева, В. Г. Морозова и его сотрудников, А. И. Павловского, Е. К. Бонюшкина, В. М. Горбачева и других перспективностью пиродетекторов для регистрации ряда параметров ядерного взрыва, и получили возможность время от времени участвовать в облучательных опытах. Всяческую поддержку в этом нам оказывали Е. А. Негин, Л. М. Тимонин.

В 1973 году я впервые после 1962 года (ФО-12) оказался на Берегу. Город заметно разросся, вместо пункта “Ш” работать (и жить) нам теперь предстояло на пункте “Г”, в НИЧ я не нашел ни одного старого знакомого. Но... теперь не надо было лазать туда-сюда по трапу в свой бункер, как в 1962 году. У нас был теперь свой оборудованный фургон, не надо было... Ну, в общем, многое стало лучше. Единственное, что не изменилось, и не изменялось еще семь последующих лет, в течение которых мы выезжали на полигон со своими физическими измерениями, это бытовые условия жизни, но тут никто из нас, грешных, ничего поделать не мог. Все методические группы, на всех опытах спасались от всякой заразы одним способом: полигонный “полтинничек” после возвращения из штольни или с поля. Наша группа, конечно, не была исключением. Как начальник этой полигонной группы свидетельствую, что мы действительно избежали всякой заразы. Кстати, костяк нашей группы сложился после первого опыта в 1973 году и был довольно стабильным: Ва-

лерий Борисенко, Михаил Коротченко, Владимир Воронцов, Анатолий Афанасьев и я. К сожалению, сегодня с нами нет уже М. В. Коротченко, В. Н. Воронцова, А. И. Афанасьева.

Кроме памятного физопыта 1962 года, хотел бы рассказать еще о двух хорошо запомнившихся мне опытах.

Год 1975. Три экспедиции одна за другой: испытание ЯО в штольне, облучательный опыт НЦР-ТОР в чистом поле, фотоопыты в штольне.

Физикам-теоретикам и газодинамикам-экспериментаторам давно было интересно “посмотреть”, как сходятся при обжати не макетные материалы, которые многократно исследовались на площадках института, а их натурные аналоги. И вот в 1975 году по приказу директора института Л. Рябева была организована экспедиция с целью провести натурные опыты в отрезках глубокой штольни. Экспедицию было поручено возглавить мне (фотохронографическая методика и модернизация соответствующей аппаратуры для целей использования ее в условиях штольни разрабатывались группой прибористов во главе с Б. М. Ловягиным в нашей лаборатории, и он подробно описал ее в своих воспоминаниях).

Шла вторая половина октября, полигон опустел. Большая часть нашей маленькой группы находилась на полигоне третий месяц. Все рвались домой, все хотели быть дома в праздник (очередная годовщина Октября). Это еще больше ускоряло нашу работу. Слава Богу, что к Октябрьским праздникам хотели быть свободными от трудной жизни и работы на пункте “Г” и офицеры полигона, и работавшие по контракту горняки с Украины. Три опыта были проведены с интервалом в одну неделю, и все встретили праздник дома.

Но что останется в памяти на всю оставшуюся жизнь, так это последние часы перед забивкой каждого из трех концевых боксов (КБ). Дело в том, что КБ как такового – герметичного концевой блок-бокса под замком – не было и в помине. Наш КБ представлял собой отрезок штольни, в котором на расстоянии 50 см от испытываемого изделия надо было ставить герметизирующую КБ бетонную стену толщиной 4,5 метра с оптическим окном для съемки фотохронографом. Автоматика подрыва была не очень совершенной: капсюли-детонаторы на изделии и электрическая разводка не были хорошо защищены от механических воздействий; кабель подрыва можно было подключить к детонаторам только в последний момент, так как при открытом КБ нельзя было подвергать ни малейшей опасности горняков, делающих опалубку, ставящих бетонную стенку. Вдобавок надо было быть уверенным, что оптический канал вывода информации со стороны изделия останется чистым после забивки штольни.

В этой ситуации я видел один выход из положения: оставаться один на один со снаряженным изделием до самой последней возможности. Все испытатели знают, как лихо “машут” топорами и лопатами горняки, когда делают забивку: летят искры от топорков, летят ошметки бетона во все стороны. Представьте теперь себе картину: я стою между оптическим окном и изделием, лицом к изделию. На мне шуба, так что окно плотно прикрыто моей спиной (от пыли оно защищено марлей, которую перед уходом надо не забыть снять). Изделие прикрыто навесом, но искры, пыль, ошметки бетона возникают в са-

мых неожиданных местах, и я пытаюсь с ними бороться. Так проходит два-три часа, пока за моей спиной не вырастает опалубка от пола до свода штольни, пока горняки не поставят первую тонкую стенку из бетона. Когда под сводом остается щель шириной 50–70 см, я провожу последние операции с изделием, последний раз “промываю оптическую ось”, и с помощью горняков преодолеваю щель в стенке. Затем команду укладкой бетона в оставшуюся щель, и только после этого спускаюсь на рельсы однопутки здесь же у стенки в полном изнеможении. Слегка отдохнув, отправляюсь в фургон, где с радостью вижу своих товарищей. Ни я, ни они не говорим о пережитом, сразу начинаем готовить измерительный комплекс к консервации до момента “ГР”.

В нашем случае момент “Ч” следовал за “ГР” через 1-2 часа. Невероятно, но факт: в этот промежуток времени на устье штольни все три раза появлялся взявшийся неизвестно откуда табун лошадей, что каждый раз приводило нас в изумление.

Год 1976. Самая “партизанская” для нашей группы экспедиция на Новую Землю. Заручившись устной поддержкой главного конструктора и руководителя испытаний ЯО Е. А. Негина, мы подготовили эксперименты по измерению излучений с помощью пиродетекторов. Сейчас уже не могу вспомнить все детали того, как нам удалось довести до устья штольни в пункте Северный (автотранспорт – две железнодорожные платформы – трюм боевого корабля – автотранспорт) более сорока катушек кабеля (“коблов”), каждый весом от 100 до 200 килограммов, чтобы проложить для наших факультативных измерений измерительные линии в штольне длиной около одного километра. Для нашей маленькой группы из пяти человек это было весьма серьезным физическим испытанием.

В 1977 году Ю. Б. Харитон утвердил ТЗ на следующую НИР с тем же названием “Пьезо-, пиро-, сегнетоэлектрические преобразователи энергии”. Наш научный багаж стал значительно больше, чем был пять лет назад, и теперь ставилась задача углубить комплексный подход к изучению пьезо-, пиро-, сегнетоэлектриков, как рабочего тела пьезо-, пироэлектрических преобразователей энергии различного назначения, работоспособных в условиях ядерного взрыва. К таким преобразователям, макеты которых разрабатывались в лаборатории, относятся, в первую очередь, датчики давления (отметчики ударной волны), взрывные пьезогенераторы (ВПГ), пиродетекторы излучения.

Макеты двух типов взрывных пьезогенераторов (тока и напряжения) и соответствующий научный задел, по указанию Ю. Б. Харитона, были переданы в 1981–1982 годах во ВНИИА, что послужило началом становления там нового направления работ.

В 1984–1985 годах силами 10 подразделений института, заводов 1 и 2 под общим руководством С. Г. Кочарянца и при научном руководстве автора, во ВНИИЭФ было успешно разработано техническое предложение с шифром “Ядро”, в котором практически всю систему автоматики выбранного специзделия предлагалось построить на пьезоэлектрических преобразователях энергии.

В 1985–1988 годах проводилась работа по внедрению ВПГ в изделия Министерства машиностроения. Первая совместная работа была начата с НИИмаш в Дзержинске (Горьковская обл.). Здесь приступили к разработке обычных боевых частей осколочного действия, для чего требовалось разработать систему синхронного подрыва боевого заряда. Для этой цели хорошо подходила система подрыва на основе безопасных электродетонаторов и ВПГ. На этом и строились наши взаимоотношения в течение нескольких лет.

В 1987 году Юлий Борисович направил меня к А. И. Вознесенскому, председателю НТС Оборонного отдела ЦК КПСС, с докладом о взрывных преобразователях энергии, о возможностях и перспективах их применения. Уже на следующий день Андрей Иванович отправил меня на своей служебной машине, буквально от Спасских ворот Кремля, в Коломну для встречи с известным главным конструктором Непобедимым С. П.

После этого последовали встречи и доклады главному конструктору Ю. А. Мозжорину и его первому заместителю В. М. Сурикову (ЦНИИмаш МОМ), начальнику 12 ГНТУ МОМ Плющикову В. М., Генеральному конструктору Д. И. Козлову и его первому заместителю Г. П. Аншакову (ЦСКБ МОМ, Куйбышев).

Везде шла речь о необходимости организации синхронного подрыва, и наши системы на основе ВПГ везде вызывали интерес. Все шло хорошо, но уже набирала темпы перестройка, уже появились первые признаки торможе-



Коллектив лаборатории 0903. Слева направо: верхний ряд – А. С. Дементьев, Г. П. Обыденков, К. Э. Рыбалов, В. Г. Симаков, И. Г. Толстикова; средний ряд – В. Н. Коннов, В. Н. Воронцов, Н. А. Филиппова, А. И. Афанасьев, М. В. Коротченко; нижний ряд – В. А. Борисенко, Т. В. Трищенко, Е. З. Новицкий, З. М. Пучкова, В. Д. Садунов

ния военных заказов, уже начала сокращаться переписка по совместным работам. Все кончилось тем, что в 1989 году меня пригласили участвовать в конкурсе на замещение вакантной должности начальника отделения 6. Но это уже другая история, не имеющая отношения к отделению 3.

Незадолго до моего ухода из отделения большой коллектив лаборатории был отмечен за успешную работу по исследованию пьзо-, пиро-, сегнетоэлектриков в ударных волнах, в полях импульсного ионизирующего излучения, в сильных электрических полях. Остается добавить, что лаборатория 0903 после моего ухода пережила все трудности переходного периода, в том числе, уход из нее в 1992 году В. А. Борисенка с частью сотрудников. Несмотря на все это, за прошедшие 15 лет лаборатория достигла новых высоких результатов.

Не менее впечатляющие результаты были получены в результате выполнения НИР в 1972–1982 годах В. А. Борисенком со своими сотрудниками, особенно если учесть, что свои исследования пироэлектриков в полях импульсного ионизирующего излучения он начинал с нуля.

В результате этих исследований была создана исчерпывающая феноменологическая теория пироэлектрического преобразователя излучения, разработаны методы выделения пироэлектрического сигнала на фоне сопутствующих эффектов, разработаны методы измерения некоторых электрофизических характеристик пироэлектриков. Без всего этого невозможно было приступить к разработке эффективных, фоновостойких пиродетекторов излучения для импульсных реакторов, линейных ускорителей, детекторов гамма-нейтронного излучения при взрыве ядерного заряда.

Полигонные опыты продемонстрировали высокую способность пиродетекторов регистрировать тонкую структуру излучения, возможность одним детектором регистрировать и гамма-импульс, и нейтроны. В опытах были апробированы несколько типов пиродетекторов, и это дало возможность отработать оптимальную конструкцию ряда пироэлектрических детекторов.

В конце 80-х годов совместно с НИИИТ началась разработка программы создания серийных образцов пиродетекторов для регистрации гамма-излучения и излучения быстрых нейтронов при испытании ЯО и в облучательных опытах. К большому сожалению, ее тоже постигла печальная участь, так как начал действовать мораторий на ядерные взрывы.

Тем не менее я уверен, что весь научный задел В. А. Борисенка в области пироэлектричества будет востребован.

Я благодарен судьбе, которая подарила мне яркую, бурную молодость и зрелость в секторе 3, дала мне замечательного учителя и наставника, свела меня со многими замечательными людьми в институте и на Большой Земле, окружила меня замечательными сотрудниками. Эти 30 лет пролетели незаметно, но след оставили ярких.

А. Г. Иванов, А. Г. Федоренко, М. А. Сырунин

Можно ли загнать ядерного джина в бутылку?

История цивилизации показывает, как бы ни было страшно вновь изобретенное оружие, попытки запрета его кончаются неудачей. Очевидно, нельзя исключить, что подобная ситуация может повториться с атомным и термоядерным оружием (АиТО). Принимая как объективную реальность наличие его у ряда государств, а также учитывая последствия Чернобыльской трагедии, первоочередными становятся вопросы безопасности АиТО при его транспортировке, хранении и эксплуатации.

Известно, что такое оружие содержит в определенном соотношении и конструктивно связанном состоянии два вида опасных веществ: взрывчатые и радиоактивные. Действие каждого из них в отдельности различно по своим последствиям. Так, взрыв химического взрывчатого вещества (ВВ), содержащегося в современном термоядерном заряде [1], эквивалентен взрыву нескольких противотанковых гранат. Последствия такого взрыва хотя и могут быть трагическими, однако носят сугубо локальный характер в пространстве и времени. Существенно большую опасность представляет другой компонент АиТО – радиоактивные материалы. Поэтому процесс хранения и транспортировки таких материалов регламентируется специальными требованиями МАГАТЭ [2], которым должны удовлетворять контейнеры для этих материалов. Жесткие требования обращения с радиоактивными материалами вызваны как их высокой активностью, так и желанием предотвратить возможность их дробления, распыления и распространения в окружающей среде. Известно, что в мелкодисперсном состоянии они представляют наибольшую опасность, а дезактивация их существенно усложняется.

Устройства, которые, помимо радиоактивных материалов, содержат и ВВ, а к таким устройствам относятся и все виды АиТО, несомненно, представляют неизмеримо большую опасность для населения и экологии планеты. Известно, что пусковые кнопки АиТО хорошо защищены от несанкционированного задействования в боевом режиме. Однако аварийный взрыв химического ВВ, расположенного в соседстве с радиоактивными материалами, хотя и не вызовет ядерного энерговыделения, но приведет к диспергированию этих материалов и радиоактивному загрязнению окружающей среды.

Возможность аварийного взрыва ВВ вполне реальна. Она может быть следствием транспортных происшествий, пожара или целенаправленных диверсионных действий. Последствия такой аварии правильнее соотносить с Чернобыльской трагедией, так как они будут несоизмеримы с отдельным взрывом заряда ВВ или разрушением и разгерметизацией контейнера, перевозящего только радиоактивные материалы, в котором вероятность диспергирования их будет намного меньшей.

Вопросу контейнерных перевозок радиоактивных материалов в октябре – ноябре 1993 года был посвящен симпозиум национальных лабораторий США и федеральных ядерных центров России. Из его материалов следует, что лучшие образцы контейнеров защищают их содержимое от интенсивных внеш-

них воздействий (осколки и пули, открытый огонь, перегрузки и т. п.), не превышающих некоторые нормативно установленные уровни. Однако они не рассчитаны на аварийный взрыв ВВ внутри контейнера, если транспортируются устройства, содержащие и ВВ. Более того, отсутствуют даже требования МАГАТЭ к перевозке таких устройств.

В связи с этим возникают два вопроса: возможно ли возникновение взрыва ВВ; возможно ли создание достаточно легкого, транспортабельного контейнера, не теряющего конструктивной целостности и герметичности при аварийном взрыве химического ВВ АиТО. Что касается первого вопроса – ответ очевиден. Если интенсивность внешнего воздействия на ВВ существенно превысит допустимые уровни, возможность взрыва не исключается. Например, более интенсивное соударение контейнера с достаточно жесткой преградой, поражение струей кумулятивного заряда и т. п. Перейдем ко второму вопросу. Существующие и проектируемые взрывные камеры разрабатываются из традиционных материалов – сталей. Требование их транспортабельности и высокой надежности противоречивы. Действительно, первое требование диктует применение высокопрочных сталей, которые, как известно, весьма чувствительны к дефектам и склонны к хрупкому разрушению. Стремление повысить надежность таких конструкций приводит к необходимости увеличивать их массу.

Парадоксальность ситуации вызвана тем, что запас упругой энергии (ЗУЭ) деформации у большинства современных конструкций достаточен для прохождения хрупкой трещины. Очевидно, что для преодоления этого тупика есть два пути. Каждый из них основывается на уменьшении ЗУЭ деформации до величины, меньшей, чем это требуется для прохождения хрупкой трещины.*

Первый путь состоит в уменьшении ЗУЭ путем снижения нагрузок при аварийном взрыве ВВ. Он не дает решения проблемы, так как требует утолщения стенок камеры, что эквивалентно увеличению ее веса. Второй путь состоит в геометрически подобном уменьшении размеров всей рассматриваемой системы “атомный заряд – камера”. Суть его заключается в том, что при уменьшении системы ЗУЭ в стенках камеры будет падать как L^3 , а работа, совершаемая при прохождении трещины, – как L^2 (L – характерный размер системы “атомный заряд – камера”). Очевидно, что при некотором L необходимый результат будет достигнут. Ура! Но беда в том, что размеры атомного заряда заданы. И вновь тупик.

Для поиска путей его преодоления обратимся к рассмотрению более простой задачи. Пусть нам требуется рассчитать поведение протяженного стержня при растягивающей нагрузке F , не подверженного хрупкому разрушению. Очевидно, что сечение S такого стержня прежде всего должно удовлетворять условию

$$S_1 \geq F / \sigma_S, \quad (1)$$

где σ_S – предел текучести материала.

* Поскольку скорость распространения хрупкой трещины сравнима со скоростью звука в материале, работой внешних сил, изменяющих ЗУЭ за время разрушения, можно пренебречь.

С другой стороны, чтобы исключить возможность хрупкого разрушения, сечение стержня S_1 не должно превышать его критического значения, при котором ЗУЭ равен затратам энергии на прохождение хрупкой трещины. Величину S_1 определим из баланса интервалов времени прохождения трещины поперек стержня и снятия необходимого для разрушения ЗУЭ с окрестности области разрушения.

Известно, что при хрупком разрушении удельная работа отрыва материала (λ) минимальна, а работа, затрачиваемая на разрыв стержня снимается с двух сторон от места разрыва. И такое разрушение протекает во много раз быстрее, чем при пластическом течении. Поэтому, чтобы хрупкий разрыв не состоялся, необходимо, чтобы время прохождения трещины поперек стержня было больше времени снятия упругой энергии растяжения, которая расходуется на прохождение трещины. Опуская выкладки, получим, что сечение стержня должно удовлетворять

$$S_2 < \left(\frac{E\lambda}{\sigma_S^2} \right)^2 \frac{\pi}{32(1+\nu)}, \quad (2)$$

где E и ν суть модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала стержня. Из (2) следует, чем больше σ_S , тем меньше S_2 . Поэтому, как правило, оказывается, что $S_2 < S_1$. Чтобы удовлетворить условию (1) для произвольной величины F при $S_2 < S_1$, необходимо взять несколько стержней (нитей). Но это есть канат!

В рассмотренном примере со стержнем ограничение было наложено только на сечение составляющих его нитей, а их количество могло быть сколь угодно большим, в зависимости от заданной величины F . Этот вывод имеет принципиальное значение. Он открывает путь к созданию некоторых конструкций любых размеров из несущих элементов, имеющих постоянный характерный размер S_2 , которым не грозит хрупкое разрушение. На таком пути конструирования легко решается и другая задача – снижение веса взрывной камеры (контейнера). Ее решение – в использовании легких, хрупких в обычных условиях, материалов, например, стали с высоким значением σ_S , или стекла. Плотность стекла в ~4 раза меньше плотности стали. Волокно стекла марки ВМ – I при диаметре 10 мкм разрушается при напряжении в 4,2 ГПа, что в несколько раз превышает аналогичное значение для высокопрочных сталей. Композитный материал, силовыми элементами которого являются ориентированные стеклянные нити, а связующим материалом – эпоксидная смола, широко применяется в технике.

Исследования последних лет показали, что вполне реально, используя такие композитные материалы, создавать взрывостойкие суперконтейнеры для АиТО, которые будут в 5–10 раз легче, чем аналогичные конструкции из стали [4, 3]. Возможно ли создать легкий, транспортабельный контейнер, не теряющий конструктивной целостности и герметичности при аварийном

взрыве химического ВВ АиТО? Каковы пути еще большего уменьшения веса и затрат при создании суперконтейнеров?

Нам представляется, что решение лежит в использовании конструктивной особенности устройства термоядерного заряда: возможности отделения каскада иницирующего атомного заряда от остальной его части (см. рис. 1, с. 13). Именно этот каскад термоядерного заряда представляет главную опасность, так как помимо радиоактивных материалов, в контакте с ними содержится химическое ВВ. Согласно [1], вес ВВ в современном атомном заряде составляет всего 7–18 кг.

Компактная форма атомного заряда, который состоит из набора сферических слоев различных материалов, в отличие от протяженной формы всего термоядерного заряда, позволяет разместить его в сферический контейнер. Такие конструкции из стеклопластика наиболее эффективны и выдерживают без разрушения взрыв зарядов до 5 % от их веса [3]. Так что для локализации взрыва заряда ВВ из тротила весом ≤ 20 кг силовая оболочка контейнера составит ~ 400 кг. Эта оценка показывает, что вполне реально создать высоконадежный сферический суперконтейнер для атомного заряда, который используется автономно или в качестве иницирующего каскада термоядерного заряда. Ориентировочно, вес такого суперконтейнера при необходимом запасе прочности составит ~ 1 т при диаметре ~ 1 м и стоимости 3–5 % от стоимости атомного заряда.

Преимущества такого решения проблемы безопасности АиТО состоят в следующем:

1. Нет необходимости разработки “безопасного” варианта АиТО и, следовательно, не требуются большие материальные затраты и ядерные испытания, ухудшающие экологию Земли.

2. Легко решается задача противодействия захвату АиТО террористическими группами. При реальной угрозе захвата атомный заряд сжигается или подрывается в аварийном режиме (без ядерного энерговыделения) в суперконтейнере.

3. Существенно упрощается и удешевляется хранение, транспортировка и эксплуатация АиТО.

Недостатком предлагаемого решения проблемы является необходимость затраты некоторого времени, измеряемого, по-видимому, часами, для приведения термоядерного заряда в состояние боеготовности. Однако для эксплуатации в мирное время этот недостаток не является существенным.

Литература

1. Chuck Hansen. US nuclear weapons. New York. US nuclear weapons orion books, 1988. 480 p.

2. Нормы МАГАТЭ по безопасности. Правила безопасности перевозки радиоактивных веществ. Вена: Международное агентство по атомной энергии, 1985, 112 с.

3. А. Г. Федоренко, М. А. Сырунин, А. Г. Иванов // ПМТФ. 1993, № 1, с. 126–133.

4. А. Г. Иванов, В. И. Цыпкин // МКМ. 1987, № 3, с. 472–480.

А. Г. Федоренко

О сферическом сталь-композитном взрывозащитном контейнере

После первых успешных применений в полигонных опытах разработанной в начале 80-х годов конструкции взрывостойкого контейнера “Колба” (рис. 1) со сталь-композитным корпусом цилиндрической формы с полусферическими днищами остро стал вопрос обоснования его надежности. Для этого исследовали прочность при взрывном нагружении многих десятков модельных трубчатых образцов с внутренним стальным слоем и наружным стеклопластиковым. Эти работы вели молодые тогда специалисты Сырунин М. А. и Воронцова О. С. (впоследствии защитившие по этим вопросам кандидатские диссертации). Многочисленные газодинамические и прочностные расчеты по данной тематике были выполнены кандидатами физико-математических наук Куропаткиным В. Г. и Приемским Н. Д. Результаты этих работ были обобщены в обзорах [1, 2] и монографии [3].



Рис. 1. Внешний вид контейнера “Колба”

Однако исследования на трубчатых образцах не давали ответа на вопрос о прочности контейнера “Колба” в продольном направлении, т. е. полусферических днищ с крышками, защищенных от прямого воздействия взрыва стальными диафрагмами и демпферами из термостойкого пенопласта. Это было тем более актуально, потому что реальное нагружение в полигонных опытах невозможно полностью смоделировать во взрывных опытах как на трубчатых образцах, так и на уменьшенных моделях “Колбы”.

Для оценки прочности “Колбы” в продольном направлении была обоснована постановка и проведена серия опытов с уменьшенными (1/5) моделями “Колбы” с нагружением взрывом заряда ВВ цилиндросферической формы

увеличенной массы. В этих опытах для предотвращения разрушения корпуса от радиального импульса в центральной зоне оболочку обматывали свинцовыми полосами, общая толщина которых профилировалась в соответствии с распределением взрывного импульса. В результате было выявлено, что днища разрушаются не от повышающегося давления в пересжимаемом пенопласте демпферов, а просто перерубаются острой кромкой достаточно толстой стальной диафрагмы, прикрывающей демпфер. То есть даже при растущих деформациях динамического двухосного растяжения полусферические днища показали наличие запасов прочности (хотя происходившее раньше разрушение путем перерубания шло по другому механизму, а именно – путем среза) [4].

Все эти события подвели к мысли о проверке конструкции взрывозащитного сталь-композитного контейнера сферической формы. Это могло бы (судя по проводившимся тогда оценкам с учетом отсутствия для композитных волокнистых материалов сильного масштабного эффекта энергетической природы, МЭЭП) резко снизить массу и габаритные размеры контейнера при заданной несущей способности по отношению к взрывной нагрузке. При обсуждении этой идеи с начальником лаборатории В. И. Цыпкиным и начальником отдела А. Г. Ивановым, естественно, высказывались и критические замечания, так как были очевидны и возможные новые отрицательные моменты, например, необходимость выполнять значительно более прочными крышки люков, подвергающиеся прямому взрывному воздействию. Вместе с тем критика была конструктивной, и в итоге было дано “добро” на проверку прочности сферических моделей после того, как была предложена и испытана высокопрочная крышка и элементы ее крепления в горловине [5]. В частности, авторы [5] предложили в какой-то мере оптимизированную по массе конструкцию вогнутой внутрь контейнера крышки, в которой материал нагружен в основном напряжениями сжатия, а запасы прочности были существенно (более 2 раз) больше, чем у оболочки сталь-композитного корпуса.

Было составлено ТЗ конструкторам нашего отделения и для Хотьковского ЦНИИСМ на проектирование стального и композитного корпусов модели сферического контейнера диаметром 0,5 м. При согласовании ТЗ в ЦНИИСМ было сделано предложение выполнить вариант слоя стеклопластика со схемой намотки, обеспечивающей его утолщение к горловинам (опасались концентрации напряжений у отверстий). Наш вариант этого не предусматривал – мы предложили схему намотки с более равномерной толщиной композита. Это основывалось на той же идее, что и при описании отсутствия МЭЭП для волокнистых композитных материалов, а именно на том, что каковы бы ни были напряженные состояния композитной оболочки, свою прочность она в основном реализует через растяжение волокон, которые относительно слабо взаимодействуют со связующим в других направлениях.

Первые же опыты, проведенные в 1989–1990 годах, показали правильность наших ожиданий и даже более того – наша схема намотки оказалась более предпочтительной, чем схема специалистов из Хотькова. Впоследствии на это техническое решение нам был выдан патент [6]. Впрочем, оба варианта модели массой ~45 кг выдержали взрыв сферического заряда ВВ, эквивалентного по энергии более 1,4 кг ТЭ [7, 8]. Однако наш вариант имел пиковую ди-



Рис. 2. Модель сферического контейнера

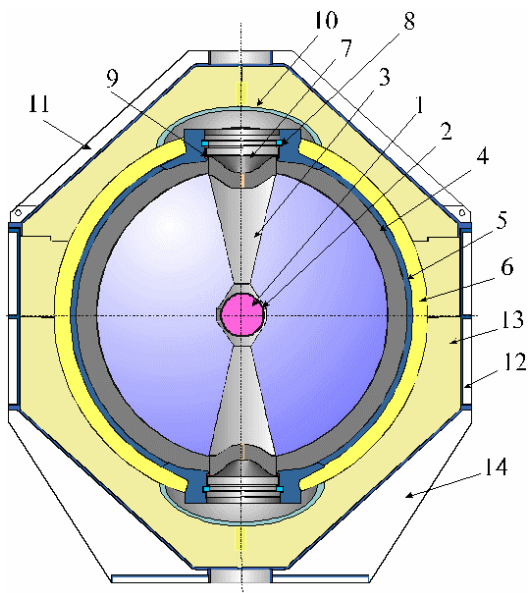
намическую деформацию на экваторе $\sim 2\%$, а Хотьковский – более 4% и был уже близок к разрушающей величине деформации, оцененной ранее экспериментально на цилиндрических образцах из такого же композитного материала. Это означает, что наш вариант при данной нагрузке еще имел и запас прочности около двойки! То есть двое крепких мужчин будут в состоянии поднять контейнер, выдерживающий взрыв около 2 кг ТНТ (это сопоставимо с противотанковой миной). Вид сферической модели после взрыва в ней заряда ВВ $1,4\text{ кг}$ ТЭ представлен на рис. 2.

Такой же по несущей способности (и диаметру) модельный образец контейнера “Колба” имел массу более 200 кг и длину около 2 м [4]. Применявшийся при этом заряд ВВ сферической формы

имел уже диаметр, близкий к диаметру проходного отверстия горловины, поэтому сферическую модель так и не удалось разрушить (при заполнении ее воздухом). Для экспериментального определения предельной деформируемости сферической композитной оболочки были поставлены также опыты с взрывным нагружением такой же модели, но заполненной водой, что потребовало ВВ заметно меньшей массы. Зарегистрированная при этом максимальная деформация при разрушении была более 5% [1].

Таким образом, работы с композитными материалами, в том числе с оболочками сферической формы, показали перспективность их применения во взрывозащитных конструкциях, при этом сферические формы оказались по удельной (по массе) прочности в $3\text{--}5$ раз эффективнее ранее исследованных контейнеров типа “Колба”. Этот важный результат позволил предложить такие малогабаритные высокопрочные контейнеры для повышения безопасности ЯО (путем разделения ЯБП и помещения в сферический контейнер наиболее опасной части ЯБП – атомного иницирующего блока, содержащего в сочетании ВВ и ядерно-активные материалы [9]). Кроме того, для этих целей были испытаны модели сферических сталь-композитных контейнеров на взрыв ВВ, окруженного инертной (стальной) оболочкой, дающей осколки. Контейнер в этих случаях был доработан (в него были вставлены противосколочные защитные вкладыши, образующие слои из керамзитобетона или алюминия). Положительные результаты этих опытов [10] позволили затем разработать проект (при поддержке МНТЦ) взрывозащитного сферического контейнера, отвечающего (кроме высокой удельной взрывостойкости) нормам МАГАТЭ для транспортировочных контейнеров, содержащих радиоактивные материалы (рис. 3).

Рис. 3. Конструктивная схема суперконтейнера, отвечающего нормам МАГАТЭ: 1 – заряд ВВ; 2 – упаковка ВВ; 3 – устройство крепления ВВ; 4 – слой противоосколочной защиты; 5 – стальной корпус ВК (сферическая оболочка Ø808 мм и толщиной 4 мм); 6 – силовая композитная оболочка корпуса ВК с минимальной толщиной 25 мм; 7 – крышки люков ВК (высокопрочная сталь); 8 – опорные разрезные кольца крышек (высокопрочная сталь); 9 – уплотнение (мягкая медь); 10 – защитные колпаки (сталь); 11 – крышка ТК (мягкая сталь); 12 – корпус ТК (мягкая сталь); 13 – демпфирующий и теплозащитный слой корпуса ТК (тепlostойкий пенопласт); 14 – ребра жесткости корпуса ТК



Отсутствие сильных МЭЭП у волокнистых материалов и вследствие этого независимость их предельной деформируемости от размеров конструкции (при сохранении диаметра армирующих волокон) и от степени двухосности напряженного состояния позволили также обосновать концепцию создания крупногабаритных взрывозащитных камер для безопасной термоядерной энергетики [11] и рекомендовать композитные волокнистые материалы для силовых оболочек защитного корпуса реакторов АЭС[12].

К сожалению, из-за трудностей финансирования новых разработок в последние годы эти работы не нашли должного внимания и поддержки у руководства ВНИИЭФ и не были внедрены в натурном варианте, например, в части создания взрывостойких контейнеров для повышения безопасности обращения с ЯО.

Литература

1. Федоренко А. Г., Сырунин М. А., Иванов А. Г. Динамическая прочность оболочек из ориентированных волокнистых композитов при взрывном нагружении // ПМТФ. 1993. № 1. С. 126–133.
2. Федоренко А. Г., Сырунин М. А., Иванов А. Г. Критерии выбора композитных материалов для оболочечных конструкций, локализирующих взрыв // V Харитоновские тематические научные чтения. Саров: ВНИИЭФ, 2003. С. 40–50.
3. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве / Под общ. ред. А. Г. Иванова. Саров: ВНИИЭФ, 2001.
4. Сырунин М. А., Федоренко А. Г., Иванов А. Г. Реакция на нагружение и прочность стеклопластикового контейнера при внутреннем взрывном нагружении // Физика горения и взрыва. 2002. Т. 38, № 3. С. 127–136.

5. Федоренко А. Г., Шимаров А. Г., Сырунин М. А. Разработка и испытания крышки высокого давления // ПМТФ. 1994. Т. 35, № 2. С. 163–168.

6. Патент РФ RU №2009387 С1 Способ изготовления устройства для локализации взрыва / А. Г. Иванов, М. А. Сырунин, А. Г. Федоренко // Изобретения. 1994. № 5.

7. Федоренко А. Г., Сырунин М. А., Иванов А. Г. Динамическая прочность сферических стеклопластиковых оболочек при внутреннем взрывном нагружении // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 4. С. 93–99.

8. Ivanov A. G., Syrunin M. A., Fedorenko A. G. Dynamic strength of spherical shells under internal explosive loading // The review of high pressure science and technology. 1998. Vol. 8, № 4. P. 302–305. Proceedings of international Conference -AIRAPT-16 and HPCJ-38 - on High Pressure Science and Technology, Kyoto, Japan, 25-29 August, 1997.

9. Иванов А. Г., Федоренко А. Г., Сырунин М. А. О возможности повышения безопасности ядерного оружия // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 2. С. 169–171.

10 Сырунин М. А., Федоренко А. Г., Иванов А. Г. и др. Взрывостойкий контейнер, удовлетворяющий требованиям норм МАГАТЭ по безопасности // The 12th International Conference on the Packaging and Transportation of Radioactive Materials (May 10-15, 1998, Paris: SFEN, France. V. 4. P. 1574–1580).

11. Иванов А. Г., Сырунин М. А., Федоренко А. Г., Рыжанский В. А. О концепции создания камеры для энергетики взрывного термоядерного синтеза // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 3, № 6. С. 171–179.

12. Иванов А. Г., Федоренко А. Г. Целесообразность применения композитных материалов для защитной оболочки АЭС // Атомная энергия. 1993. Т. 75. Вып. 1. С. 45–48.

М. А. Сырунин

Международное сотрудничество по “контейнерной” тематике

Международное сотрудничество РФЯЦ-ВНИИЭФ с американскими ядерными лабораториями (Сандийские национальные лаборатории, Ливерморская национальная лаборатория и Лос-Аламосская национальная лаборатория) по вопросам безопасности развивается с начала 90-х годов, после того, как был установлен мораторий на проведение ядерных испытаний и начали готовиться совместные решения по контролю за ядерным оружием и нераспространением ядерных технологий в третьи страны. Для укрепления доверия между российскими и американскими учеными-ядерщиками и развития взаимовыгодного сотрудничества по ряду вопросов, касающихся безопасного обращения с ядерным оружием, контролем за его сокращением и нераспространением, в 1993 году было запланировано несколько международных семинаров, которые должны были проходить поочередно в США и России (Арзамас-16 и Челябинск-70).



Участники первого российско-американского семинара (Альбукерке, США, 1993 г.) (слева направо): К. Карбинер, А. Г. Иванов, Д. Борер, А. Л. Михайлов

К этому времени у ученых-ядерщиков появилась возможность выезжать за границу на международные конференции. Минатом выделял средства для таких поездок. Поэтому ряд ведущих ученых нашего отделения, и в том числе нашего отдела (Иванов А. Г., Рыжанский В. А.), участвовали в работе конференций, выступая с научными докладами по тематике, связанной с динамической прочностью конструкционных материалов. Однако тогда такие поездки были неординарным событием для всего отделения. После поездки участники устраивали лекции, на которых делились с общественностью своими впечатлениями об увиденном и услышанном там.

Для подготовки российско-американских семинаров в первой половине 1993 года была создана специальная координационная группа, куда вошла наша сотрудница Воронцова О. С. В дальнейшем для координации международной деятельности во ВНИИЭФ было создано целое специальное подразделение (сейчас это Центр международных связей, заместителем начальника которого стала бывшая сотрудница нашего отдела Воронцова О. С.).

Первый семинар по аварийно-стойким контейнерам и обеспечению безопасности при транспортировке решено было провести в США (г. Альбукерке, штат Нью-Мексико). Наш отдел представил в организационный комитет семинара два доклада: “Транспортабельный локализирующий контейнер для взрывоопасных грузов” и “Сферические взрывостойкие транспортабельные контейнеры на основе волокнистых материалов”, – и оба доклада были отобраны для участия в семинаре. Так как количество участников семинара, чью поездку в США полностью финансировала принимающая сторона, был ограничен, оба доклада на конференции представлял начальник отдела, основоположник и руководитель данного направления работ А. Г. Иванов. А так как волок-

нистые композиты были использованы как силовая основа контейнеров, потому что конструкции из них не подвержены влиянию масштабного фактора энергетической природы, то Анатолий Григорьевич в своем докладе на семинаре рассказывал и о масштабном эффекте энергетической природы (МЭЭП).

К этому времени в нашем отделе уже было наработано огромное количество материала по вопросам исследований волокнистых композитных материалов, и, в частности, стеклопластиков, разработана и успешно прошла испытания камера “Колба”, была показана возможность создания легких высоконадежных взрывостойких контейнеров (ВСК) для транспортировки взрывоопасных грузов и боеприпасов, в том числе ядерных [1], поэтому нам было о чем рассказать и чем “похвастаться” перед американцами. Доклад Иванова А. Г. вызвал живой интерес и по итогам семинара был признан лучшим.

Итогом поездки было предложение заключить контракт между Сандийскими национальными лабораториями и ВНИИЭФ по тематике “Взрывостойкие контейнеры”, который после согласований технического задания и получения разрешений в Минатоме в 1994 году был успешно заключен.

Международные контракты в те годы являлись дополнительным источником финансирования, который давал возможность поддерживать и даже расширять научно-техническую базу исследований по контейнерной тематике, а заработанные учеными и специалистами средства были существенным материальным подспорьем для сохранения в отделе квалифицированных кадров. Напомню, что это было время, когда зарплату по основной тематике платили нерегулярно. По сравнению с положением дел в 80-х годах, когда труд специалистов ВНИИЭФ был востребован, а работа по основной тематике кипела, в первой половине 90-х ситуация изменилась кардинальным образом. Финансирование резко сократилось, работали в основном на энтузиазме и старых заделах. Поэтому народ хватался за любую работу, чтобы заработать деньги и прокормить семью. Некоторые научные работники торговали на рынке, другие переучивались на экономистов и бухгалтеров, открывали так называемые малые предприятия (товарищества с ограниченной ответственностью) по изготовлению кирпичей и распиливанию древесины и т. д. В общем, выживали кто как мог.

Поэтому дополнительная работа, близкая к основной тематике, которая к тому же давала возможность дополнительно заработать деньги, выплачиваемые, в отличие от основной зарплаты, регулярно, была очень кстати, и за нее взялись с большим интересом и энтузиазмом. В работе, кроме руководителя контракта Иванова А. Г., участвовали сотрудники отдела: Телегин Г. С., Русак В. Н., Рыжанский В. А., Федоренко А. Г., Сырунин М. А., Заикин С. Н., а также конструкторы Девяткин И. В., Трещалин С. М.; расчетчики Абакумов А. И., Соловьев В. П., Низовцев П. Н., Певницкий А. В., Мельцас В. Ю., Портнягина Г. Ф. В таком составе в рамках контракта обосновали концепцию взрывостойких контейнеров, выбрали их схему (благо к тому времени уже были разработаны и экспериментально проверены на взрывостойкость два типа контейнеров из стеклопластика: цилиндрической формы с полусферическими днищами, тип А, и сферической формы, тип В), оценили возможность создания контейнеров двух типов, разработали программу испытаний кон-

тейнеров, обосновали конструктивные схемы контейнеров. На этом в 1995 году первый контракт был закончен, и американцы предложили его продолжить. Для нового контракта американские специалисты выбрали схему цилиндрического контейнера с полусферическими днищами для груза цилиндрической формы, содержащего заряд ВВ массой 50 кг ТНТ, при массе упаковочного материала (корпуса груза) до 450 кг, и предложили разработать такую конструкцию с минимальными габаритами и массой и обосновать ее взрывостойкость. Параллельно с этим контрактом американцами был поддержан проект, который финансировался международным научно-техническим центром (МНТЦ) “Универсальный суперконтейнер”, в рамках которого разрабатывался контейнер сферической формы, способный локализовать взрыв заряда ВВ массой 5 кг ТНТ с упаковкой до 2 кг. Причем этот контейнер, имея уникальный показатель коэффициента весового совершенства, удовлетворял требованиям норм МАГАТЭ по внешним воздействиям для транспортных упаковок радиоактивных материалов.

На этом этапе наметились некоторые разногласия в творческом коллективе нашего отдела, участвовавшем в этих работах. Произошло разделение участников работ на две группы: одна часть работала по контракту, а другая – большая часть, к которой присоединился еще ряд сотрудников отдела (Клещевников О. А., Цой А. П., лаборанты Заньков А. Н., Морозов Н. Г., Громов В. Ф. и др.), а также ряда других подразделений ВНИИЭФ, – по проекту МНТЦ.

Эти работы успешно велись до 1998 года. Их научным руководителем являлся Иванов А. Г. За это время удалось разработать и обосновать конструкцию цилиндрического контейнера с полусферическими днищами из стеклопластика, удовлетворяющую требованиям, выставленным американской стороной, в которых масса конструкции не должна была превышать 5 т при массе заряда ВВ ~35 кг в опасном грузе массой ~350 кг. При оптимизации контейнера по массогабаритным характеристикам были использованы уже проверенные технические решения защиты днищ с горловинами, отверстия в которых закрыты силовыми крышками. Здесь вместо пенопластовых демпферов были использованы дроссели и крешера [2].

По проекту МНТЦ (руководитель Сырунин М. А.) была успешно решена другая задача – разработана и экспериментально отработана на модельных образцах конструкция контейнера из стеклопластика сферической формы массой ~200 кг, способная локализовать взрыв заряда ВВ массой 5 кг ТНТ в корпусе массой до 2 кг. При этом конструкция имела наружный контейнер, защищающий от внешних аварийных воздействий.

Следует отметить, что инициатором и вдохновителем указанных работ с американской стороны на протяжении всего периода сотрудничества выступал руководитель программы безопасности Ричард Смит. Этот человек непосредственно курировал эту работу, занимался продвижением наших разработок в США, убеждал и разъяснял необходимость ее продолжения в Департаменте энергетики США, выбивал деньги для финансирования работ, был колаборатором проектов МНТЦ.

В 1998 году после поездки участников контракта в США, где они провели презентацию результатов разработок по контракту и проекту МНТЦ, были

поставлены вопросы об изготовлении в России нескольких экземпляров контейнеров цилиндрической геометрии с полусферическими днищами, их испытании с целью определения несущей способности и запасов прочности и поставке одного контейнера, как демонстрационного экземпляра, в США. Причем для снижения стоимости работ было предложено использовать уменьшенные геометрически подобные модельные образцы контейнеров, рассчитанные на удержание взрыва 8 кг ТНТ с упаковкой опасного груза массой 35 кг. Также на этом этапе работ было решено заменить силовой материал стеклопластик на базальтопластик, по своим характеристикам не уступающий первому. Такая замена перед использованием в конструкции контейнера требовала обязательной экспериментальной проверки трубчатых образцов из базальтопластика во взрывных опытах. Процедура согласования такого большого и дорогостоящего контракта, включающего этапы изготовления образцов, заняла около 2 лет, мы начали по нему работать только в 2001 году. Однако по ряду “политических” причин руководство контрактом на этом этапе перешло в руки теоретического отделения, и руководителем контракта стал Соловьев В. П.

Следует отметить, что в 1998 году начались работы по проекту МНТЦ (руководитель Иванов А. Г.) “Работа над монографией «Особенности деформации и разрушения простейших объектов при импульсном (взрывном) нагружении»”. За два года была написана и в 2001 году издана книга “Разрушение разномасштабных объектов при взрыве”. В монографии на основе современной механики разрушения сформулирован интегральный подход в проблеме разрушения, из которого следует возможность проявления сильных МЭЭП, а поиск путей ухода от МЭЭП позволил установить замечательное свойство волокнистых композитов разрушаться без проявления МЭЭП. В книге на основании обобщения большого количества публикаций целый раздел посвящен результатам исследований поведения этого класса материалов, в частности, стеклопластиков при взрывном нагружении, а также представлено несколько конструктивных схем взрывостойких контейнеров из стеклопластиков, разработанных и уже испытанных конструкций и конструкций, предлагаемых для новых разработок [3].

В работах по новому контракту при исследовании реакции на взрывное нагружение макетных трубчатых образцов из базальтопластика установлено, что этот материал по динамическим прочностным характеристикам не уступает стеклопластику. Также были изготовлены три контейнера из базальтопластика (длина 3,3 м, наружный диаметр 0,99 м, масса ~2 т). В течение 2003–2004 годов по этому контракту во ВНИИЭФ было проведено четыре опыта, на которых присутствовали американские специалисты. В одном опыте испытывался трубчатый макетный образец центральной части контейнера, в двух опытах проведены успешные испытания первого (8,2 кг ТНТ) и второго (11,2) контейнеров на номинальную и повышенную нагрузки, а в последнем четвертом испытании первый контейнер при повторном наружении зарядом ВВ массой ~17 кг ТНТ был разрушен на две части в центральной области. Результаты проведенных испытаний показали, что контейнер, разработанный в соответствии с техническим заданием по контракту Сандийскими на-

циональными лабораториями, обеспечивает требуемую взрывостойкость, т. е. полную локализацию внутри своей полости продуктов взрыва заряда ВВ массой ~8 кг ТНТ в упаковке из инертного материала массой ~35 кг, и имеет запас прочности не менее 1,4 [4, 5]. Третий контейнер был поставлен в США и находится в музее Сандийских национальных лабораторий в г. Альбукерке.



Контейнер AT595 – экспонат музея Сандийских национальных лабораторий США

Сейчас проходит стадию подписания следующий контракт, который предполагает оптимизацию контейнера с учетом результатов проведенных испытаний и новых требований по расширению области его применения для эвакуации террористических устройств. Работы по “контейнерной” тематике будут продолжаться и дальше.

Хотелось бы отдельно остановиться на зарубежных командировках по контрактам и проектам МНТЦ. Если в начале 90-х годов и ранее поездка за рубеж сотрудника ВНИИЭФ была целым событием (как для него, так и для коллектива), то при развитии международного сотрудничества наступили времена, когда такие поездки стали нормальным явлением, характеризующим творческую активность ученого. Поездки сотрудников нашего отдела за рубеж связаны с их участием в тематических конференциях, в основном, касающихся динамической прочности и ударной сжимаемости конструкционных материалов, и презентацией на совместных семинарах результатов, полученных при выполнении контрактов. По итогам конференций выпускается сборник докладов, либо доклад публикуется в научном журнале. Заполучить



Рабочая встреча российских, американских и французских специалистов в фирме “Transnucleaire” (Париж, октябрь 1996 года)

такой сборник без участия в работе конференции сейчас практически невозможно, а там, как правило, публикуются самые последние научные результаты и достижения в интересующих нас областях науки. Перечислю страны, в которых мы побывали в зарубежных командировках: США, Германия, Франция, Англия, Испания, Нидерланды, Япония, Южная Африка и др. Обычно конференции проводятся в городах с богатой историей и культурой. Кроме научной программы, организуются интересные экскурсии. Воспоминания об увиденном и услышанном остаются на долгие годы.

Литература

1. Ivanov A. G. et al. Transportable Localizing Container for Explosive Cargoes // Proceedings of Symposium of Accident Resistant Containers and Transportation Surety, Albuquerque, USA, NM, Oct.26- Nov.2, 1993.
2. Иванов А. Г., Федоренко А. Г., Сырунин М. А. О возможности повышения безопасности ядерного оружия // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 2. С. 169–171.
3. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве / Под общ. ред. А. Г. Иванова. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001.
4. Вооружение. Политика. Конверсия: Информационно-аналитический журнал ВНИИЭФ. 2003. № 1 (49).
5. Основные достижения РФЯЦ-ВНИИЭФ 2003. Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2004.

В. А. Огородников

Былое и думы

В июне 1968 году я окончил пятый курс физико-технического факультета Уральского политехнического института имени С. М. Кирова. На дипломную практику несколько студентов нашей группы с кафедры № 23 (разделение и применение изотопов) были направлены в Курчатовский институт. Однако возникла задержка по времени из-за оформления разрешительных документов. Заведующий кафедрой профессор Паригорий Евстафьевич Суетин принял решение об изменении места прохождения практики. Я со своим товарищем Валерием Шишальовым попал в Институт физико-технических проблем энергетики АН СССР (в отдел газодинамики и теплообмена). По прошествии 36 лет я с благодарностью вспоминаю обстановку удивительно благожелательного отношения и высокой требовательности как со стороны руководителя отдела Шейкмана Арнольда Григорьевича, так и со стороны его сотрудников. Мы оказались во вновь создаваемой группе экспериментаторов, поэтому для нас были созданы все необходимые условия для выполнения и написания дипломных работ. Тема моей дипломной работы была связана с испарительным охлаждением и направлена на исследование кинетики испарения капли жидкости при различных скоростных и температурных напорах в газовом

потоке. Мой товарищ исследовал динамику взаимодействия капельной жидкости с крылом самолета. Несколько теоретиков занимались вопросами, связанными с созданием МГД-генераторов. Обычно работа начиналась в 8-9 часов, а заканчивалась после 20 часов. Запомнилось, что, несмотря на сравнительно скромную зарплату сотрудников, все работы выполнялись с энтузиазмом, на высоком научном уровне. Отношения между сотрудниками были товарищескими. Поскольку я в этот период женился и у меня не было квартиры в Свердловске, то после успешной защиты диплома мне с сожалением пришлось отказаться от предложения поступить в аспирантуру в этом институте. Одним из основных аргументов при выборе распределения было утверждение Родигина В. Н., что молодые специалисты в Арзамасе-16 в течение года обеспечиваются жильем, хотя безусловно решающим являлась перспектива занятия наукой.

В апреле 1969 года я прибыл в Арзамас-16 вместе с другими выпускниками нашего факультета. Это было время большого наплыва молодых специалистов (в 1969 году прибыло около 275 человек), которых энергично устраивал тогда еще молодой инспектор отдела кадров Муравьев Евгений Николаевич, впоследствии сотрудник Института физики взрыва. Однако их распределение носило сумбурный характер. В отдел кадров приходили представители руководства подразделений и агитировали на работу к себе не всегда в соответствии с имеющимися направлениями. Так и я согласился с предложением начальника Центральной лаборатории измерительной техники (ЦЛИТ) Николая Андреевича Пелых серьезно заняться метрологией измерения импульсных давлений и ускорений – важнейших параметров при динамических испытаниях разрабатываемых в институте изделий.

Считаю, что мне очень повезло, приобретенный опыт работы как в области метрологии, так и с электронной аппаратурой постоянно помогал в дальнейшем. За два года работы в ЦЛИТ я основательно познакомился с современной измерительной техникой, молодежью, которая не только хорошо работала, но и прекрасно проводила свободное время, а также сотрудниками многих секторов ВНИИЭФ. Так, знакомство с Батьковым Ю. В., Пылевым И. Г. и Бодренко С. И. предопределило мой переход в январе 1972 года в более близкий для меня по специальности газодинамический сектор 03, в лабораторию Новикова Станислава Александровича отдела 26.

Однако попав в группу Крысанова Ю. А. этой лаборатории, я успел только ознакомиться с обстановкой, сдать необходимые для работ на внутреннем полигоне экзамены по технике безопасности и поучаствовать в нескольких опытах на площадке 19 по определению удельного импульса пластического ВВ (П-84). Дело в том, что в этот период происходил процесс образования



Специалист в области радиоэлектроники
Гречин В. И.



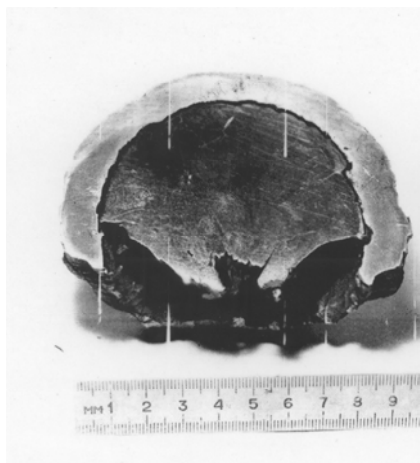
За подготовкой к семинару. Младшие научные сотрудники Садунов В. Д. и Огородников В. А., будущие начальники лабораторий, доктора наук

чем, Садуновым Валерием Давидовичем, Борисенком Валерием Аркадьевичем, Пучковой Зоей Михайловной и Филипповой Ниной Александровной занимался вопросами деполяризации пьезокерамики при ударно-волновом нагружении.

В 1973 году после сдачи специального экзамена и получения книжки взрывника я начал самостоятельно проводить взрывные эксперименты. Это обстоятельство способствовало в какой-то степени тому, что большую часть времени занимала отработка нагружающих устройств для создания тех или иных давлений, т. е. чисто газодинамические вопросы. В частности, мы с Пинчуком С. Ю. отработывали устройства для разгона металлических фольг толщиной 0,1–0,5 мм как до низких скоростей (~100 м/с), так и до гиперзвуковых (~10–15 км/с). Поскольку со временем мы показали способность к самостоятельному проведению экспериментов, то начальник отдела и лаборатории 1 Иванов Анатолий Григорьевич привлек нас однажды и к газодинамической отработке (ГДО) изделий. В 1976 году в секторе 03 было предложено разработать малогабаритное изделие с высокорасположенной оболочкой, которое бы обеспечивало показатели, близкие к американским: 1 кТ мощности на 1 кг веса. Было запланировано проведение около двух десятков опытов по исследованию устойчивости схождения оболочек в таком изделии, в том числе с использованием различных типов фокусирующих систем. Поскольку успех не был достигнут сразу, то от предложения отказались, а материальное обеспечение на проведение десятка опытов было передано нам для завершения научно-исследовательских работ (НИР). В 1978 году мы закончили эту работу, показав возможность устойчивого схождения высокорасположенных оболочек.

Середина 70-х годов была отмечена резким возрастанием объемов ГДО изделий и полигонных испытаний. В отделе 0309 было усилено это направление работ. Начальником лаборатории 1 стал Калашников Борис Сергеевич. Из других лабораторий вместе со мной в лабораторию 1 были переведены Тюнькин Евгений Сергеевич, Карпенко Георгий Яковлевич, Пинчук Станислав Юрьевич, Порфирьев Анатолий Аполлонович и Хохлов Николай Павлович.

отдела 0316 на базе лаборатории Новикова С. А. Разделение отдела сопровождалось некоторой перетасовкой кадров, в результате я остался в отделе 26 (0309), попав в измерительную лабораторию, которую только что возглавил Новицкий Евгений Захарович. В составе этой лаборатории была выделена группа Коротченко Михаила Васильевича, которой было поручено заниматься исследованием поведения сегнетоэлектриков при ударно-волновом, а позднее и радиационном воздействии. В составе этой группы вместе с Карпенко Георгием Яковлевичем, Пинчуком Станиславом Юрьевичем,



а



б

Устойчиво сходящаяся оболочка (а) и оболочка (б), потерявшая устойчивость в процессе схождения

Следует отметить, что в этот же период из лаборатории 1 выделилась группа специалистов во главе с Васильевым Леонидом Владимировичем, которая занималась вопросами сохранности изделий при их соударении с преградами.

Иванов А. Г. неоднократно высказывал пожелание вплотную заняться экспериментальным исследованием откольного разрушения и устойчивостью схождения оболочек в изделиях. На первом этапе, еще не осознавая возможностей положительного решения задачи, я с желанием взялся за нее. Научным руководителем работы стал Анатолий Григорьевич, который на протяжении 33 лет моей работы в отделе был для меня учителем и всегда оказывал необходимую поддержку. Позднее эта задача стала темой моей кандидатской диссертации, которую я написал в 1982-м и успешно защитил в 1984 году.

В 1985 году, по-видимому, по инициативе Иванова Анатолия Григорьевича и Рождественского Бориса Федоровича в лаборатории 1 была создана группа по исследованию динамической прочности вязкости материалов в составе отличных специалистов и больших жизнелюбов: Тюнькина Е. С., Лавровского Ю. Д., Крюкова Н. И., Мишукова В. В., Григорьева В. А., Драгунова К. А., Березина А. А. К ней же были приданы копровая, лазерная установки и комплекс БУТ-76, на которых работали Хохлов Н. П., Лучинин В. И. и Есин О. А. Мы активно занялись углубленным изучением газодинамической стадии работы изделий, связанным с развитием возмущений, устойчивостью схождения оболочек и засорением полости с газом, главным образом, в свете изучения влияния на эти процессы прочности и вязкости материала оболочек. В месяц проводили и обсуждали результаты от 20 до 30 только взрывных опытов, получая колоссальный объем информации. Кстати, за весь период работы в отделе мне удалось принять участие при проведении около пяти тысяч взрывных опытов в качестве помощника взрывника, взрывника или руководителя опыта. При этом мы ни разу не допустили возможность возникновения аварийной ситуации, что является заслугой хорошо отлаженной работы группы ТБ в ИФВ. Тем не менее один курьезный случай произошел при про-

ведении взрывного опыта. В опыте для возбуждения детонации в основном заряде ВВ использовали линзовый генератор плоской ударной волны, который инициировали с помощью безопасного электродетонатора Д22. Помощник взрывника Пинчук С. Ю. ошибочно установил электродетонатор (ЭД) в розетку с точностью до наоборот, т. е. инициирующий элемент был направлен в противоположную от заряда ВВ сторону. При подаче на ЭД высоковольтного импульса напряжения он сработал нормально, но детонации заряда ВВ не произошло. За счет разлета корпуса ЭД частично разрушился линзовый заряд ВВ. Было лето, конец рабочей смены в пятницу, предстояла длительная процедура получения накладного заряда ВВ для уничтожения остатков линзового заряда ВВ. Решили произвести подрыв основного заряда на основе гексогена с помощью разрядного импульса от высоковольтной установки. При этом импульс напряжения амплитудой 60-80 кВ подавали на медную проволочку или зазор, которые располагали между двумя зарядами ВВ. Ни от взрыва проволочки, ни от искры в зазоре подорвать заряд ВВ не удалось. Получили накладной заряд и произвели подрыв. О произошедшем доложили в группу ТБ и в установленном порядке на собрании взрывников проанализировали возникшую ситуацию.

Работалось удивительно легко и интересно. Мы с Хохловым Н. П. уже имели ученые степени кандидатов наук, а старшим научным сотрудникам Лавровскому Ю. Д., Тюнькину Е. С. и Крюкову Н. И. были определены темы диссертационных работ. Лавровский Ю. Д. и Тюнькин Е. С., к сожалению, слишком рано ушли из жизни (в 1991 и 1993 годах). Крюков Н. И. в 1996-м защитил кандидатскую диссертацию. Возглавлявший в этот период лабораторию Лев Иванович Кочкин всемерно поддерживал наши инициативы. Мы тесно взаимодействовали с коллегами из теоретических и математических отделений (ИТМФ). От творческого и дружеского сотрудничества в разное время с Певницким Б. П., Нефедовым В. С., Морозовым В. Г., Григорьевым Д. В., Шемякиным В. Ю., Огневым Л. И., Бабичевым Н. Б. и Бабичевым Ю. Б., Садовым А. А., Софроновым В. Н., Ивановой Г. Г., Михайловым С. В., Давыдовым А. И., Рогожкиным Г. А. и другими физиками-теоретиками и математиками, со многими из которых сотрудничество продолжается, остались наилуч-



Дружеский футбольный матч
в “лужниках” с отделом 0308



На сборе урожая

шие впечатления. Раз в неделю, как правило, в пятницу, у нас был библиотечный день. Обычно в первую половину дня знакомились с поступающей в библиотеку отечественной и зарубежной научной литературой и обсуждали ее. Я просматривал отечественные, а мой друг, Тюнькин Женья, знавший английский язык, – зарубежные журналы. Потом мы обменивались информацией. Часто подбрасывал новинки Анатолий Григорьевич. После обеда мы отправлялись на 21 площадку. С теоретиками и математиками, всегда в дружеской атмосфере, обсуждали полученные в последнее время результаты и намечали новые планы. Возвращались из ИТМФ, как из храма, воодушевленные, заряженные какой-то положительной энергией. Мне кажется, сейчас у молодых специалистов и специалистов средних лет в какой-то мере утеряно это романтическое отношение к работе.

Наряду с закрытыми работами, ежегодно удавалось сделать две-три публикации в открытой печати, три-четыре доклада на научных конференциях различного уровня, а иногда и получить авторское свидетельство на изобретение. Участие в работе конференций, безусловно, помогало расширить кругозор видения задач и круг общения, что позволило со временем включиться в решение общезначимых научных задач и задач, имеющих важное прикладное значение, например, для безопасности атомной энергетики. Появились контрактные работы с американскими оружейными лабораториями, европейскими организациями и проекты МНТЦ, которые позволили, особенно в трудный в финансовом отношении для ВНИИЭФ период с 1995 по 2000 годы, поддерживать материальное положение хотя бы части наших сотрудников.



Участники Всесоюзного семинара фундаментальных проблем физики ударных волн. Азау. Приэльбрусье. 1987 год



Участники исторической конференции в LANL. Ливермор.
США. 1997 год



На юбилейном совещании, посвященном 100-летию со дня рождения
Г. А. Цыrkова. Снежинск. 2002 год

Начиная с 1995 года наша группа достаточно активно взаимодействует с Институтом теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур Российской академии наук (ИТЭС ОИВТ РАН), один из отделов которого возглавляет профессор Минеев Владимир Николаевич, высоко квалифицированный специалист и обаятельный человек.



На праздновании 50-летия ИФВ. Минеев В. Н., Иванов А. Г.,
Огородников В. А.

В этом же отделе работают бывшие сотрудники ВНИИЭФ Фунтиков Александр Иосифович и Крысанов Юрий Александрович, с которыми мы постоянно взаимодействуем. В результате совместных работ по безопасности атомных электростанций (АЭС) была решена задача аварийного перекрытия трубопроводов различных типоразмеров, заполненных жидкостью или газом, разработано и исследовано новое поколение огнеупоров – материалов с хорошими механическими и теплофизическими характеристиками. Эти материалы предназначены для использования в качестве демпферов механических нагрузок и тепловых барьеров при изготовлении ловушек для удержания расплава активной зоны реактора при аварии на АЭС. В настоящее время эти работы активно продолжаются с привлечением к ним все большего количества сотрудников, в том числе из других отделов ИФВ и подразделений ВНИИЭФ.

Безусловно, эта деятельность проводилась в какой-то мере в ущерб основной работе, поэтому часто приходилось удлинять рабочий день на два-три часа и чем-то жертвовать. Так, например, в 1995 году у меня была завершена экспериментальная часть работы над докторской диссертацией, написаны и направлены на утверждение в ученый совет ВНИИЭФ тезисы доклада по диссертационной работе. Однако написание диссертации и ее оформление растянулось на долгие пять лет. Только в 2000 году я написал, а в 2001-м успешно защитил докторскую диссертацию на тему, связанную с ролью прочности и вязкости на газодинамической стадии работы изделий.

После ухода на пенсию Кочкина Льва Ивановича в январе 2000 года я был назначен на должность начальника лаборатории 1. Лаборатория состояла из трех групп и нуждалась в проведении реструктуризации, поскольку имеющиеся две параллельные группы ГДО изделий оказались без руководителей (ушел из жизни Калашников Б. С. и уволился Новиков В. Ф.). Кроме того, в виду резкого уменьшения объема ГДО, иметь две группы сотрудников для решения одной задачи было нецелесообразно. Поэтому мною было принято

решение о создании четырех групп с меньшей численностью и разными задачами. Первая группа во главе с Карпенко Георгием Яковлевичем занималась вопросами ГДО изделий, подготовкой и проведением начавшихся в это время испытаний гидродинамических макетов (ГДМ) на ЦП РФ (исследование симметрии и динамики). Вторая группа во главе с Савиновым Евгением Васильевичем занималась исследованием процессов, сопутствующих газодинамической стадии работы изделий (исследование засорения полости, защита блоков автоматики и т. п.). Третья группа (сюда входили лаборанты и техники) во главе с опытным взрывником Дегтяревым Борисом Петровичем отвечала за подготовку и проведение всех взрывных опытов с использованием фотохронографической методики и методики МСД на полигоне 3/1 и рентгенографической методики на полигоне 2/1-2/2. Четвертая группа во главе с Лучининым Виктором Ильичом занималась вопросами динамической прочности, поведением пористых веществ при ударно-волновом нагружении и т. п., используя возможности комплекса БУТ-76. Положительный опыт работы лаборатории в течение последующих пяти лет подтвердил правильность проведенных преобразований.



Участники опыта перед его проведением

Однако проведенная реструктуризация сразу же выявила и большое место, связанное с отсутствием запаса прочности или резерва в кадрах. Эта болезнь свойственна не только лаборатории 1, но и всему отделу. Уход из жизни или на пенсию высококвалифицированных специалистов не может быть восполнен, за редким исключением, выпускниками местного СарФТИ, а притока молодых специалистов из других вузов страны нет. После защиты докторской

мне предложили преподавать в СарФТИ, читая курсы лекций “Физические основы получения информации” на кафедре общетехнических дисциплин факультета измерительной техники и электроники и “Основы физики прочности и механика разрушения” на кафедре теоретической и экспериментальной механики физико-технического факультета. Опыт общения со студентами, особенно во время зачетов и экзаменов, свидетельствуют, за редким исключением, о невысоком уровне их подготовки. Это же подтверждается их дальнейшей деятельностью во ВНИИЭФ. Так, за последние годы в лабораторию 1 было принято шесть выпускников СарФТИ. Опыт показывает, что при очень бережном отношении на подготовку специалиста к самостоятельной деятельности, в том числе с проведением взрывных работ, требуется от четырех до пяти лет, вместо двух-трех лет для выпускников ведущих вузов страны 60–70 годов. Тем не менее считаю, что в лаборатории был взят правильный курс на ежегодное привлечение к работе одного-двух выпускников СарФТИ. Двое молодых специалистов, Ерунов Сергей Владимирович и Романов Алексей Васильевич, уже сегодня подают надежды, что они могут состояться как ученые. Таким образом, видно, что проблема кадров, хотя и очень тяжелая, но не безнадёжная.

В очерках моих коллег достаточно подробно изложены вопросы становления методической базы, впечатляющие результаты проведенных пионерских исследований и эмоциональный настрой сотрудников отдела от начала гонки вооружений или момента испытания первых образцов ядерного оружия (ЯО) до создания современных малогабаритных образцов ядерных зарядов (ЯЗ) и последних их испытаний в начале 90-х годов. К сожалению, последующий период, вплоть до настоящего времени, отражен ими не достаточно полно. Для меня этот переходный период имеет принципиальное значение. Во-первых, он делит мою жизнь в отделе на две равные части длиной в шестнадцать лет каждая. Во-вторых, этот момент совпал с глобальными изменениями в жизни нашей страны: перестройка, распад СССР, “прихватизация” собственности, реставрация капитализма. Поэтому хотелось бы сравнить свои впечатления о работе отдела именно в пределах этих, относительно небольших, но принципиально отличных временных отрезках.

Безусловно, работать в первый промежуток времени было проще. Казалось бы, основные задачи по созданию образцов ЯО были решены. Проходил процесс подтверждения и повышения количественных характеристик ЯЗ, на что выделилось достаточное количество средств при проведении как необходимого объема ГДО, так и полигонных испытаний. Благодаря целенаправленной политике руководства в отделе была создана вначале специализированная группа прибористов, а затем и методическая лаборатория 0309/3, возглавляемая Новицким Е. З. Это позволило в 1970–1990 годах завершить модернизацию приборно-методической базы отдела, включая модернизацию рентгеновской установки в казематах 1 и 2 площадки 2; модернизацию старого парка линейных осциллографов ОК-17, ОК-21, ОК-25, а затем и замену их более современными осциллографами ОК-33 и другими; модернизацию строенных пультов управления СФР-3к, обеспечивающую одновременную работу трех фотокамер СФР, и введение оптической калибровки развертки СФР метками

времени; модернизацию системы управления камерами СФР в количестве до семи камер с помощью пульта управления Экстра-7к, а модернизация электроискровой установки завершилась созданием принципиально нового многоканального регистратора ГСИ-100 с использованием ячеек Керра. Все это позволило достаточно эффективно и более углубленно проводить как ГДО изделий, так и фундаментальные исследования, например, ударной поляризации линейных диэлектриков и деполяризации сегнетокерамики, динамической прочности материалов, поведения конструкций при ударно-волновом нагружении и т. п. Для рассматриваемого периода характерно было и то, что отдел непрерывно пополнялся выпускниками ведущих московских, ленинградских и других вузов страны. Между молодыми сотрудниками отдела царил дух здоровой конкуренции. На проведение взрывных опытов можно было выехать в порядке установленной очередности, после анализа и обсуждения результатов предыдущих опытов и после основательной подготовки к следующим. Как правило, наиболее интересные результаты обсуждались у начальника отдела, а потом выносились на более широкое обсуждение в рамках научных семинаров. Не было проблем с поездкой на различные всесоюзные научные конференции и семинары.

Не могу не сказать несколько теплых слов в адрес руководителей того времени: начальника отделения 03 Тимонина Леонида Михайловича и его заместителя Бабадея Сергея Михайловича. По своему служебному положению больше приходилось взаимодействовать с Сергеем Михайловичем. Его целеустремленность, профессионализм и желание прийти на помощь в любой ситуации были залогом реализации, казалось бы, несбыточных планов. За кажущейся малодоступностью Леонида Михайловича скрывался очень интеллигентный, доброжелательный человек, умеющий принимать ответственные и мудрые решения. Эти черты его характера я сумел разглядеть позже, когда мне посчастливилось работать с ним в экспертной комиссии по открытым публикациям, специализированном совете по защите диссертаций, оргкомитете по подготовке и проведению газодинамических конференций. После того или иного заседания, где Леонид Михайлович всегда занимал активную позицию, оставалось чувство удовлетворения решением вопросов и ощущение познания нового.

Казалось бы, наше положение должно было существенно ухудшиться после прекращения испытаний на ядерных полигонах в начале девяностых годов. Основной предпосылкой этого могло явиться заметное сокращение объемов ГДО изделий и уменьшение общего финансирования работ. Кроме того, начался болезненный процесс смены руководства в отделении и отделах. Экономическое положение в стране в то время также не вызывало больших иллюзий. Невыплаты зарплат достигали нескольких месяцев. К счастью, ситуация для нас по ряду причин складывалась относительно благополучно. После заключения договора ДВЗЯИ в 1996 году ученые ВНИИЭФ наконец-то смогли приступить к более-менее спокойной работе, к решению не менее важных, вновь поставленных перед ними задач. Это прежде всего решение задачи безопасности и надежности ядерного арсенала России, вопросов газодинамического и физико-математического моделирования его функциониро-

вания в боевых и аварийных режимах, анализа полученных ранее результатов, внедрения достижений фундаментальных исследований в производство. Решение этих задач, безусловно, должно базироваться на углубленной модернизации экспериментальной газодинамической и расчетно-теоретической базы. И во ВНИИЭФ этот процесс в целом пошел. Пошел он и в ИФВ, и в отделе 0309. Появилось новое направление исследований, связанное с проведением неядерных взрывных экспериментов на ЦП РФ, в котором лаборатория 1 вместе с другими лабораториями отдела заняла одно из ведущих мест. Под эти задачи были достаточно оперативно в НИИИТ и отделе 0303 ИФВ разработаны цифровые измерительные комплексы СЭ-435 и АКМ-03, предназначенные для измерения симметрии и динамики изделий, контроля работы ФС и состояния взрывозащитных камер (КСК). Однако уход из отдела Новицкого Е. З. с группой сотрудников, разделение приборно-методической лаборатории на две части не прошли бесследно. Оставшемуся малочисленному приборно-методическому сектору, возглавляемому Ловягиным Б. М., досталась трудновыполнимая задача, связанная с обеспечением обширного приборного хозяйства отдела, освоения новой цифровой техники и участия в измерениях при проведении опытов. В этих условиях говорить о развитии методической базы бессмысленно. Хотя именно в этот период у отдела был шанс получить большую финансовую поддержку на развитие фотохронографической методики. Исследователи отдела в своих попытках интегрироваться в фундаментальные исследования неоднократно сталкивались и сталкиваются с проблемой недостаточности скорости развертки у имеющихся камер СФР, которые с момента своего создания (уже около 50 лет) в этом плане не модернизировались. А повышение скорости развертки регистраторов и увеличение необходимого временного разрешения на один-два порядка (до 0,1–1,0 нс), судя по зарубежным разработкам, было возможным. Второй утерянной возможностью методического направления отдела явилось создание импульсной голографии, хотя бы даже при решающем участии контрагентов. Руководство ИФВ (директор Михайлов Анатолий Леонидович) понимает эти трудности и пытается по возможности помочь в этом направлении оснащением существующих методик лазерными источниками и электронно-оптическими регистраторами с более высокими, по сравнению с СФР–2М, скоростями развертки.

Несмотря на имеющиеся сложности, лаборатория 1 продолжает участвовать в углубленном исследовании процессов, сопровождающих газодинамическую стадию работы изделий, получая необходимую информацию для развития численного моделирования задач неоднородной газодинамики, а также продолжает сотрудничество с другими лабораториями РАН в интересах безопасности ядерной энергетики будущего.

Считаю, что 33 года, проведенные в отделе 26 (0309), явились для меня подарком судьбы, позволили познакомиться с сотнями замечательных людей как во ВНИИЭФ, так и за его пределами. Хотелось бы надеяться на возможность плодотворной работы в течение ближайших 10–15 лет.

А. Г. Иванов

Прокол

Одной особенностью строения Луны является фактическое отсутствие тяжелого ядра. Это наводит на мысль, что она произошла из поверхностных слоев Земли, бедных тяжелыми элементами. В работах американских исследователей считалось, что ее рождение произошло в результате косого соударения о Землю космического тела массой, равной 1–2 массам Марса, и скоростью ~ 15 км/с. Из выброшенного с поверхности Земли вещества при таком мегаимпульсе и образовалась Луна. В работе отечественных исследователей Боярчука А. А., Рускола Е. Л. и др. было показано, что если бы такой сценарий реализовался, то эксцентриситет Земли относительно Солнца, равный 0,017, увеличился бы в несколько раз, т. е. Земля стала бы вращаться относительно Солнца по вытянутому эллипсу.

Принимая во внимание, что при косом соударении налетающего тела (НТ) только малая часть вещества Земли может быть выброшена наружу, напрашивалась мысль оценить механизм образования Луны вследствие откольного отрыва части поверхности Земли при ударе по ней НТ существенно меньшей массы. Разрушением при одномерной деформации, отколе, автор интересовался длительное время и посвятил ему ряд работ (А. Г. Иванов, В. Н. Минеев // ДАН СССР. 1975. Т. 220, № 3. С. 575; В. А. Огородников, А. Г. Иванов // ФГВ. 2001. Т. 37, № 1. С. 133).

С другой стороны, известно, что местоположение стартовых площадок для запуска искусственных спутников Земли выбирают как можно ближе к экватору, где тангенциальная скорость поверхности является максимальной.

Наконец, еще одно соображение. Луна в настоящее время находится на расстоянии 60,3 радиуса Земли и удаляется дальше вследствие торможения за счет морских приливов. Из суммарного момента количества движения (МКД) в настоящее время в системе Земля – Луна 80 % принадлежит Луне и только 20 % – Земле. Очевидно, что до откола массы Луны от Земли весь МКД принадлежал Земле, поэтому ее экваториальная скорость была в 5 раз больше и составляла 2,33 км/с. Такой окружной скорости отколовшейся массе, из равенства сил притяжения и центробежного ускорения отвечало расстояние 11,8 радиусов Земли. Эти соображения были использованы при дальнейшем расчете. Статью решил направить в ДАН. Из академиков в то время наиболее доступным был Ю. А. Трутнев. Попросил представить ее. Копию рукописи я направил в Новосибирск, в журнал ФГВ, и предполагал прочитать ее в качестве доклада на Международных Лаврентьевских чтениях. Вот эта статья.

Луна – отколовшаяся часть Земли?

В работе Боярчука, Рускола, Сафронова и Фридмана “Происхождение Луны, спутниковый рой или мегаимпакт?” показано, что сценарий образования Луны из роя вещества, образовавшегося после высокоскоростного соударения с Землей тела, имевшего скорость

15 км/с и массу, превосходящую 1–2 массы Марса, противоречит фактам. Отмечая, что гипотеза мегаимпакта явилась следствием аномальных свойств Луны, в [1] показано, что она неизбежно приводит к эксцентриситету земной орбиты, в несколько раз превышающему фактическую величину $\Delta e = 0,017$. Покажем, что измененный сценарий образования Луны, как следствие мегаимпакта, имеет право на жизнь.

Примем в качестве рабочей гипотезы образования Луны механизм откола. При достаточно интенсивном соударении в теле Земли возникает мощная ударная волна. Выход и отражение ее от свободной поверхности на противоположной удару стороне Земли приведет к возникновению растягивающих усилий. Последние будут возрастать по мере удаления от свободной поверхности, могут привести к отрыву материала – отколу и забросу отколовшейся массы на некоторую орбиту Земли. Оставшаяся масса Земли, равно как и отколовшаяся часть ее, вследствие гравитационных сил, как показано в работе [2], примут формы, близкие к сферам.

В качестве одной из возможных ситуаций этого сценария рассмотрим лобовое соударение налетающего тела (НТ) в область экватора Земли. Для оценки примем массу НТ, равную 0,02 массы Земли (M), что более чем в 10 раз меньше массы НТ, рассмотренного в [1]. При средней плотности $\rho = 3,5 \text{ г/см}^3$ его радиус составит $r = 0,3R$, а при $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ $r = 0,24R$, где R – радиус Земли. Скорость соударения примем 15–20 км/с. Рассмотрение, как и в [1], будем вести в системе координат, связанной с Землей.

При таком соударении эксцентриситет орбиты Земли фактически не превысит ее настоящего значения $e = 0,017$. Воспользовавшись оценочными формулами (2), (10) и (12) работы [1], получим, что первоначально круговая орбита Земли после удара в радиальном направлении превратится в эллипс с эксцентриситетом не более $\Delta e = 0,010$. При ударе вдоль орбиты Земли значение эксцентриситета может достигнуть $\Delta e = 0,026$. Однако и в этом случае учет импульса, унесенного отколовшимся слоем, приведет к снижению эксцентриситета Земли до 0,018. Таким образом, главный довод против мегаимпактного механизма образования Луны устраняется.

Проведем необходимые оценки. Обозначим ω и Ω угловые скорости вращения Земли вокруг своей оси и системы Луна – Земля вокруг их центра масс, а n – расстояние между центрами масс Земли и Луны в радиусах Земли. Обозначим, соответственно, через ω_0 , Ω_0 и n_0 значения перечисленных величин в настоящее время.

Так как лобовой удар не может изменить момент количества движения (МКД) Земли, то его значение до соударения и откола части Земли следует принять равным сумме МКД собственно Земли и системы Луна – Земля в настоящее время. Эта величина составляет $\sim 2MR^2\omega_0$, из которой в настоящее время 80 % МКД принадлежит системе Луна –

Земля, или $\frac{(n_0 R)^2}{82} M \Omega_0$, и 20 %, или $0,4 M R^2 \omega_0$, – Земле. Здесь и далее

Земля принята в форме сферы со средней плотностью $5,5 \text{ г/см}^3$.

После заброса отколовшегося слоя – родительской массы Луны – на орбиту Земли уравнение МКД запишется в виде *

$$0,4\omega + \frac{n_2}{82}\Omega = 2,0\omega_0. \quad (1)$$

Воспользовавшись третьим законом Кеплера в форме $\Omega^2 n^3 = \text{const}$, запишем связь Ω и n через Ω_0 и n_0 :

$$\Omega = \Omega_0 (n_0 / n)^{3/2}. \quad (2)$$

Приняв к сведению, что $\omega_0/\Omega_0 = 27,3$ и $n_0 = 60,3$, из (1) и (2) получим

$$\omega/\omega_0 = 5 - 0,515\sqrt{n}. \quad (3)$$

Последнее уравнение позволяет найти изменение МКД Земли после отделения отколовшейся массы и заброса ее на орбиту Земли с радиусом nR .

Согласно [3], исследование высокоскоростного соударения компактных ударников по массивным преградам показало:

– фронт ударной волны в преграде хорошо аппроксимируется сферической поверхностью с перемещающимся центром, расположенным примерно на расстоянии $1/3$ глубины проникновения ударной волны;

– материал мишени сильно сжат в виде тонкого слоя вблизи ударного фронта.

Эти заключения дают основание принять для оценок площадь отколовшегося слоя Земли, равную $\sim 1/5 - 1/3$ от ее поверхности. При плотности поверхностных слоев Земли $\sim 3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ [4], исходя из массы Луны $M/81$, получим толщину отколовшегося слоя $\sim (1,4 \dots 2,4) \cdot 10^5 \text{ м}$, что значительно меньше $R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$.

Перед отколом весь МКД принадлежал Земле, и ее поверхностные экваториальные слои имели тангенциальную скорость $V \cong 2,33 \text{ км/с}$. Принимая, что эта скорость сохраняется и на круговой орбите отколовшегося слоя, определим радиус этой орбиты n . В настоящее время орбитальная скорость Луны равна $V_0 = 1,03 \text{ км/с}$ при $n_0 = 60,3$. Используя эти данные, по формуле (2) получим $n = 11,8$.

Оценим начальную радиальную скорость W , которую надо сообщить единице массы отколовшегося слоя, чтобы забросить ее на круговую орбиту с радиусом $11,8R$. Потенциальная энергия Φ единицы массы на расстоянии $r = nR$ от центра Земли (при $n \geq 1$) [5] есть

* Мы пренебрегаем некоторым отличием в направлениях векторов МКД системы Луна – Земля и Земли, а также увеличением массы Земли за счет налетающего тела.

$$\Phi = gR \frac{n-1}{n}, \quad (4)$$

где g – ускорение силы тяжести на поверхности Земли. Приравнивая $\Phi = W^2/2$ при $n = 11,8$, найдем $W = 10,7$ км/с. Из уравнений (1)–(3) следует, что при $n = 11,8$ только 64 % общего МКД останется у Земли, а 36 % будет у системы Луна – Земля. При этом угловая скорость Земли уменьшится с $\omega \cong 5\omega_0$ до $\omega \cong 3,2\omega_0$.

Приливное воздействие Луны и Солнца ведет к диссипации энергии в системе Луна – Земля. Согласно [6] в настоящее время энергия замедления Земли составляет $\sim 10^{19}$ Дж/год и на 2/3 определяется Луной. Но так как возмущающий потенциал пропорционален $(nR)^{-3}$, то на ранних и последующих стадиях эта энергия была многократно больше, целиком определялась Луной и вела к перераспределению МКД между Землей и Луной. По данным [4] лазерная локация Луны показывает на ее удаление со скоростью 3,8 см/год. Анализ данных по затмениям в историческое время дает для этой же скорости 4,4 см/год.

При скорости соударения НТ и Земли 15–20 км/с будет израсходовано 18–32 % энергии соударения на заброс отколовшегося слоя на орбиту Земли. Этот слой унесет с собой 33–44 % импульса НТ. Абсолютная величина затраченной энергии на заброс отколовшейся массы на орбиту составит $\sim 4,2 \cdot 10^{30}$ Дж. Такой энергетический эквивалент в земных условиях трудно представить.

Можно привести несколько примеров впечатляющих земных катаклизмов. Первый, и наиболее яркий, состоит во взрывном разрушении построек вулканов [7]. Самые крупные из них, имевшие место в 20-м столетии, это разрушения вулканов Безымянный (1956 год), Шивелуч (1964 год) и Сент-Хеленс (1980 год). Весь процесс с переброской массы породы объемом ~ 1 км³ и затратой энергии $\sim 10^{17}$ Дж протекает за секунды. К другим событиям подобного типа следует отнести землетрясения Земли. Освобождаемая при таких событиях упругая энергия оценивается $\sim 10^{18}$ Дж, но за год [6]. Наконец, взрыв термоядерного заряда мощностью ~ 20 Мт тринитротолуола ($\sim 10^{17}$ Дж) при его недостаточном заглублении может привести к последствиям, аналогичным взрывному разрушению построек вулканов. Конечно, эти примеры по энергетическим затратам являются бледным подобием рассматриваемого сценария образования Луны.

Проведем верхнюю оценку энергетических затрат на отрыв материала, пренебрегая падением прочности свойств материала с ростом температуры. Развитие механики разрушения с переходом от силовых критериев разрушения к энергетическим позволило существенно продвинуться в понимании этого явления. Результаты исследований на разномасштабных геометрически подобных образцах различных материалов показали, что в изученном интервале изменения толщин откольного

слоя (δ) от 10^{-10} до нескольких единиц на 10^{-2} м напряжение откола (σ) описывается соотношением

$$\sigma^x \delta = \text{const}, \quad (5)$$

где $x = 2/(1-m)$, m – показатель степени в формуле

$$\lambda = \lambda_0 (\delta / \delta_0)^m. \quad (6)$$

Последняя формула описывает зависимость работы отрыва (λ) при отколе от толщины слоя [8]. Для ряда исследованных материалов $m = 0,54...0,72$ при средней величине $\bar{m} = 0,63$. В работе [9] при $\delta \cong 5 \cdot 10^{-2}$ м найденные значения σ_0 для ряда горных пород лежат в интервале 45–147 МПа. Среднее значение $\sigma_0 \cong 70$ МПа. Приведенные в [9] данные по динамическим коэффициентам интенсивности напряжений $\bar{K}_{Id} \approx 7,4$ МПа \cdot м^{1/2} и модуле Юнга ~ 50 ГПа дают среднее значение $\bar{\lambda}_0 \approx 1,1 \cdot 10^3$ Дж/м². Полагаем, что уравнения (5) и (6) справедливы и для средней величины отколовшегося слоя $\bar{\delta} \approx 1,9 \cdot 10^5$ м, получим $\bar{\sigma} \approx 4,2$ МПа и $\bar{\lambda} = 1,5 \cdot 10^7$ Дж/м². Общие затраты энергии на откол составят менее $2,5 \cdot 10^{21}$ Дж – величину, пренебрежимо малую в сравнении с затратой энергии на заброс отколовшегося слоя на орбиту Земли.

В предложенном сценарии, исходя из закона сохранения МКД, наиболее критичной величиной является интенсивность УВ, выходящей на свободную поверхность Земли. Именно она должна обеспечить скорость заброса отколовшейся массы $\sim 10,7$ км/с, отвечающую круговой лунной орбите при скорости $\sim 2,33$ км/с. Необходимая интенсивность ударной волны может быть достигнута подбором скорости соударения. Расстояние, на котором будет достигнуто напряжение откола σ , определит толщину, и соответственно, площадь и форму отколовшейся массы. Последняя, вследствие неоднородности строения Земли, может заметно отличаться от рассмотренной выше.

Проведенные оценки предложенного сценария образования Луны путем откола вследствие мегаимпакта основаны, главным образом, на энергетическом рассмотрении. Вместе с тем, полученные расчетно-экспериментальные данные по поведению материалов до давлений, измеряемых терапаскалями [10], имеющаяся в настоящее время информация о строении Земли [4], бурное развитие расчетных методик – все это позволяет надеяться на возможность проведения и более точных расчетов, в том числе с учетом гравитационных сил и истории развития Земли. Такие расчеты при необходимости позволят варьировать параметры НТ: его скорость, массу, плотность, а также угол и время соударения с Землей, – с целью более полного описания аномальных свойств нашего спутника: бедность железом, большой орбитальный момент, наклон лунной орбиты и т. д.

Литература

1. Боярчук А. А., Рускол Е. Л. и др. Происхождение Луны: спутниковый рой или мегаимпакт? // ДАН. 1998. Т. 361, № 4. С. 481–484.
2. Слюта Е. Н., Воропаев С. А. Наблюдаемый переход между малыми и планетными телами солнечной системы: эффект критической массы // ДАН. 1998. Т. 358, № 4. С. 480–483.
3. Динс Дж., Уолш Дж. Теория удара: некоторые общие принципы и метод расчета в эйлеровых координатах // Высокоскоростные ударные явления. М: Мир, 1973. С. 533.
4. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли. М.: Наука, 1983. С. 416.
5. Флигль Р., Бузингер Дж. Введение в физику атмосферы. М.: Мир, 1965. С. 468.
6. Шило М. А., Вашилов Ю. Я. Земные приливы как тектонический насос и вибратор // ДАН. 1989. Т. 307, № 4. С. 833–836.
7. Богоявленская Г. Е., Брайцева О. А. и др. Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 3–26.
8. Огородников В. А., Иванов А. Г. и др. Масштабный эффект при динамическом разрушении (отколе) хрупких и вязких материалов // Физика горения и взрыва. 1999. Т. 35, № 1. С. 108–114.
9. He N., Jin X. et. al. Characteristic of Dynamic Tensile Fracture in Augite – Peridotite // Shock Compression of Condensed Matter – 1995? Vol. 1. P. 593–596. Proc. Conf. of Amer. Phys. Soc. Seattle, Washington, 1995.
10. Трунин Р. Ф. Ударная сжимаемость конденсированных веществ в мощных ударных волнах подземных ядерных взрывов // УФН. 1994. Т. 164, № 11. С. 1215–1237.

Заброшенная на орбиту масса, вследствие гравитационного притяжения превратится в спутник – Луну. Такой сценарий никем не рассматривался. При его осуществлении масса НТ при той же скорости соударения потребует во много раз меньше и не вызовет искажения орбиты Земли в эллипс, более того, при таком соударении основная часть импульса НТ будет унесена отколовшимся слоем.

Спустя 2–3 месяца после отправления рукописи статьи в редакции журналов, из ДАН получил достаточно развернутый отрицательный отзыв. Он состоял из двух частей. В первой, наиболее объемной части отзыва, обсуждался вопрос о том, что ранее никем не наблюдался процесс образования нового космического тела методом откола при столкновении двух тел. Ознакомившись с ней, я воспринял духом, надеясь, что и вторая часть рецензии будет аналогичного содержания. Оказалось, это не так. Содержание второй части было убийственным, что не сразу до меня дошло. Суть ее была в том, что при забросе отколовшейся части Земли сохраняется не количество движения (mU), а момент количества mUr . Я оказался загипнотизированным местом вы-

бора стартовых площадок для запуска спутников Земли – ближе к экватору! Да, это так, но спутники Земли запускаются на высоту $r = 1,05\text{--}1,1$ радиуса Земли, и потеря исходной экваториальной скорости составит 5–10 %, а при забросе отколовшейся части Земли на $r = 11,8R$ Земли ее скорость уменьшится в 11,8 раза, и она упадет на Землю, так как тангенциальная скорость будет вместо 2,33 км/с всего ~0,2 км/с. Осознав этот нелепый, обидный просчет, написал в редакцию журнала ФГВ письмо с просьбой вернуть мне рукопись этой статьи, полагая, что это одновременно снимет ее и из программы предстоящих Лаврентьевских чтений. Это оказалось еще одним просчетом. Рукопись-то мне вернули, но тезисы докладов уже были напечатаны. На эти чтения мы вместе с М. А. Сыруниным прибыли с некоторым опозданием. Одним из первых встретил нас В. В. Адушкин с коллегой. Из разговора с ними я понял, что завтра должен читать доклад про Луну. Объяснил им ситуацию и решил сразу отправиться в оргкомитет для снятия доклада. Однако они с иронией и смехом рассказали мне подобную ситуацию и посоветовали поступить аналогично. Вот эта история.

В послевоенные годы в Московском институте физических проблем по субботам или пятницам проходили “капишники” – собрания, где читались доклады на различные физические темы. Перед одним из заседаний к П. Л. Капице обратился аспирант академика Седова с просьбой снять его доклад.

– Почему?

– Нашел существенную ошибку.

– Ну и что? Вот и расскажите, в чем Ваша ошибка. Все ошибаются.

Доклад оставил. Понимая, что это не “капишник”, а я не аспирант, решил все-таки выступить, так как тезисы докладов опубликованы. Буду посыпать свою седую голову пеплом.

Необходимость чтения доклада была осознана мною как способ привлечь внимание слушателей к новым данным по отколу, полученным нами, к возможности использования этих данных в космических исследованиях, при использовании современной механики разрушения.

Естественно, доклад вызвал оживление, улыбки, вопросы. Одним из них был: “Так образование Луны вследствие откола невозможно?” На что я ответил, что в частном случае, при лобовом ударе, который рассмотрен в докладе, невозможен. Но, это частный случай соударения.

Действительно, отношение затраченной энергии (A_1) на устойчивое движение отколовшегося материала по окружности на расстоянии nR Земли к энергии (A_2) заброса на этот радиус есть малая величина, равная $A_1/A_2 = [2(n-1)]^{-1}$, и составляет всего 5,5–1,7 % от энергии заброса на расстояние $(10\text{--}30)R$ Земли. Далее, при лобовом соударении со скоростью 15–20 км/с затрачивается на заброс отколовшегося слоя материала всего 20–40 % энергии соударения НТ с Землей. Все это дает основание надеяться, что при некотором угле соударения, отличном от 0 (от лобового соударения), возможна работа как основного механизма заброса отколом, так и механизма “мегаимпульса”, сообщающего небольшой импульс отколу в перпендикулярном на-

правлении и рассмотренного в американских работах^{*}. Роль последнего механизма сведется к сообщению отколовшемуся слою импульса, достаточного для закрепления откола на стационарной орбите Земли.

Возможен и другой вариант образования Луны – одновременного соударения с Землей двух фрагментов. Один из них наносит лобовой удар по экватору Земли и выполняет основную работу по забросу откола, как это описано выше. Другой фрагмент наносит касательный удар по Земле. По механизму, описанному в американских работах, обеспечивается передача малой доли энергии $\sim 5,5\text{--}1,7\%$ от общей энергии откола для сообщения тангенциальной скорости, достаточной для закрепления его на стационарной орбите образования спутника Земли – Луны.

А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий

Я. Б. Зельдович и ударная поляризация

Эти воспоминания о ярких, незабываемых встречах с Яковом Борисовичем не связаны с основным видом его деятельности в институте. Они относятся, главным образом, к середине 60-х годов, когда Я. Б. бывал в институте уже только наездами, в качестве научного консультанта. В каждый свой приезд он проводил в газодинамическом секторе научный семинар, на котором рассказывал о своих работах в области ядерной физики, астрофизики и космологии. После этого начиналось самое главное: Я. Б. расспрашивал нас, присутствующих на семинаре, о наших работах. Как правило, его больше всего интересовали новые, непонятные, интригующие эксперименты. Когда таковые обнаруживались, то Я. Б. буквально зажигался, тут же начинал генерировать идеи, исписывал формулами все полотно доски в конференц-зале, пока не находил приемлемого решения. Иногда такое решение на семинаре не рождалось, и тогда Я. Б. брал “домашнее задание”.

Речь ниже пойдет не о тех масштабных задачах, которые Я. Б. решал в области астрофизики и космологии, а о двух загадочных явлениях в ударных волнах. К счастью, эти явления, долгое время остававшиеся для экспериментаторов “вещами в себе”, привлекли внимание Я. Б. Судя по всему, они доставили ему немало радости и лишний раз подтвердили его живой интерес ко всему новому, загадочному в эксперименте, с одной стороны, и простоту общения даже с начинающими инженерами (один из авторов был таковым в те годы), с другой стороны.

Итак, в конце 50–начале 60-х годов прошлого столетия, когда главная задача советского атомного проекта – создание атомного оружия – была успешно решена, ведущие исследователи-экспериментаторы первого поколения РФЯЦ-ВНИИЭФ в области физики взрыва впервые получили возможность

^{*} W. Benz, W.L. Slattery and A.G.W. Cameron ICARUS, 1986, Vol. 66. P. 515–535;
W. Benz, W.L. Slattery and A.G.W. Cameron ICARUS, 1987, Vol. 71. P. 30–45.

разобрать свои архивы, систематизировать огромный накопленный экспериментальный материал, выделить наиболее любопытные, с научной точки зрения, зафиксированные ими явления и эффекты. Часть этого материала была тут же подготовлена к печати и опубликована, но большая его часть требовала более обширных и детальных исследований. К числу последних относится и явление ударной поляризации, суть которого состоит в генерировании электрического поля диэлектриком, когда по нему распространяется ударная волна (УВ). Долгое время этот факт воспринимался экспериментаторами как помеха – наводка в электрических цепях, связывающих экспериментальную сборку на взрывной площадке с регистрирующей аппаратурой в каземате, с которой надо бороться. Но чтобы эта борьба была осознанной, успешной, надо было понять природу этих помех. Начатые в 1961 году группой исследователей эксперименты с ударно-волновым нагружением полимеров и щелочно-галлоидных кристаллов, как наиболее простых структур, быстро привели к осознанию того, что ударная поляризация, сопровождающая ударное нагружение вещества (не только диэлектриков), может быть носителем богатой информации о его свойствах в УВ. При этом экспериментальная схема для изучения ударной поляризации была и остается простой: плоскопараллельный конденсатор заполняется исследуемым веществом; с помощью набора пластин с разной акустической жесткостью и взрывчатки конденсатор нагружается плоской УВ с заданными параметрами, которая распространяется или от одной обкладки конденсатора к другой, или вдоль обкладок конденсатора; к обкладкам конденсатора подключается сопротивление нагрузки, с помощью которого и регистрируется ток ударной поляризации. По мере накопления экспериментальных данных встал вопрос о создании феноменологической теории явления, а для этого, в свою очередь, было необходимо предложить некую физическую модель ударной поляризации. Важную роль в этом процессе сыграл Я. Б.

Основными этапами на пути создания феноменологической теории ударной поляризации были работы Р. Грэма (1961–1965 годы), Ф. Аллисона (1965 год), А. Г. Иванова и Е. З. Новицкого (1966 год), Я. Б. Зельдовича (1967 год), А. Г. Иванова, Ю. В. Лисицына и Е. З. Новицкого (1968 год), Р. М. Зайделя (1968 год).

Р. Грэм изучал поведение в УВ кварца, являющегося типичным пьезоэлектриком. Сжатие кварца ударной волной вызывало в нем классический пьезоэффект, и его описание не вызывало больших проблем. Созданная Грэмом первая феноменология хорошо описывала эксперимент с кварцем, если учитывать скачок на фронте УВ его диэлектрической проницаемости.

Ф. Аллисон исходил из того, что молекулы полярных диэлектриков (плексиглас, нейлон, полистирол, вода и др.), как электрические диполи-“гантели”, на фронте УВ разворачиваются в направлении распространения УВ, в результате чего в каждом элементе объема диэлектрика непосредственно на фронте УВ возникает поляризация, которая с течением времени распадается по экспоненциальному закону с характерным временем механической релаксации. (Заметим, что это приводит к генерированию в диэлектрике электрического поля порядка $10^8 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$). Теория Аллисона оказалась не намного

сложнее теории Грэма, но она позволила описать большой массив экспериментальных результатов разных авторов, зарубежных и отечественных.

Авторы публикуемых воспоминаний предложили учитывать скачок на фронте УВ не только диэлектрической проницаемости вещества, но также проводимости. По мысли авторов, вследствие релаксационных процессов, связанных с проводимостью, за фронтом УВ устанавливается двойной электрический слой, который можно интерпретировать в терминах эквивалентной электрической цепи как источник ЭДС с внутренним сопротивлением. Эта теория хорошо описывала эксперименты с веществами, в которых проводимость в ударно-сжатом состоянии была высокой (например, в тринитротолуоле в точке Чэпмена-Жуге). В то же время, она неудовлетворительно описывала эксперименты с полимерами и подобными веществами.

Когда все изложенное в этом разделе было доложено Я. Б., он после недолгих раздумий решил, что главный параметр ударной поляризации – электрическая (проводимостная) релаксация вещества в сжатом состоянии. После этого он взял тайм-аут и через пару дней пригласил нас к себе в коттедж, где он обычно останавливался. Удивительным оказалось то, что он проделал все довольно сложные и громоздкие математические выкладки на листочках с меню, по которым он заказывал себе завтрак, обед и ужин. Я. Б. только слегка прокомментировал свои выкладки, и нам в дальнейшем пришлось много потрудиться, чтобы последовательно изложить его теорию в письменном виде. Дело в том, что Я. Б. многие промежуточные выкладки производил в уме, и на бумагу заносил только то, что было нужно ему самому, чтобы двигаться дальше.

Решение Я. Б. не учитывало скачков плотности вещества и диэлектрической проницаемости на фронте УВ, механическая релаксация вещества вообще не рассматривалась. Несмотря на это, теория Я. Б. стала важным элементом общей феноменологической теории ударной поляризации Р. М. Зайделя, который написал дифференциальное уравнение 2-го порядка, учитывающее скачки плотности, проводимости и диэлектрической проницаемости на фронте УВ. Это уравнение было справедливо для произвольной нагрузки поляризационного датчика. На этом, по сути, создание феноменологической теории ударной поляризации было закончено.

В заключение этого раздела следует сказать о том, что Я. Б. сильно удивился, когда примерно через полгода мы принесли ему подготовленную к печати статью “ЭДС, возникающая при распространении ударной волны по диэлектрику”. Он поблагодарил нас за проделанную работу, предложил нам стать соавторами, мы отказались, и статья была опубликована в ЖЭТФ в 1967 году от имени одного автора. Яков Борисович не забыл упомянуть в этой статье тех, кто инициировал постановку задачи об ударной поляризации.

Н. П. Хохлов

Становление лабораторной базы отдела и полигонная работа

Начал я работу в отделе 26 лаборантом 4-го разряда в сентябре 1965 года. В. С. Кустов (зам. начальника отдела) направил меня в группу Б. С. Калашникова. В группе В. Н. Минеева с 1966 года начало развиваться новое научное направление, связанное с поляризацией диэлектриков в ударной волне (УВ). Это направление решено было укрепить кадрами, и меня перевели в группу Минеева В. Н. Работы шли интенсивно, и первый доклад по этому направлению был подготовлен к I Всесоюзному симпозиуму по горению и взрыву в 1968 году. А уже в 1969 году я был включен в состав авторов доклада на II Всесоюзный симпозиум. Это был прецедент, поскольку ранее лаборантов в соавторы публикаций не включали.

Примерно в это же время возникла необходимость в исследованиях поведения конструкционных материалов в области малых и средних по интенсивности УВ, где существенную роль играет прочность материала. Начальник отдела Иванов А. Г. и начальник лаборатории Минеев В. Н. решили, что получать УВ такой интенсивности и требуемой длительности можно и на установках лабораторного типа. Это решение начало претворяться в жизнь. Первым был закуплен серийный оптический квантовый генератор (лазер) ГОС-300 (1970 год). После серьезной модернизации лазерной установки была достигнута мощность излучения в импульсе ~ 1 ГВт, которая способна была генерировать УВ в материалах на площади $3,14 \text{ см}^2$ интенсивностью в несколько десятков кбар. Вторым был изготовлен ударный копер (1972 год). Затем ускоренными темпами была изготовлена баллистическая ударная труба БУТ-76 (1976 год, конструктор Погорелов В. П.).

Работы на установках велись интенсивно. Полученные уникальные результаты без промедления публиковались. Вспоминается такой эпизод с одной из публикаций. В 1972 году мы с Минеевым В. Н. и Лисицыным Ю. В. по материалам моей дипломной работы оформили статью по лазерной тематике. Поскольку в ту пору все материалы, подготовленные к публикации в журналах, просматривались Ю. Б. Харитоном, то он очень удивился, что газодинамический сектор 3 выпустил такую работу, и назначил экспертом Урлина В. Д. (сектор 13), который скрупулезно отнесся к поручению Ю. Б. Следует отметить, что в то время в секторе 13 открытых публикаций по лазерной тематике были единицы. И только после компетентного мнения эксперта Ю. Б. дал разрешение на дальнейшее оформление статьи.

Первым ответственным за БУТ-76 был Шитов А. Т., который ранее работал в лаборатории Новикова С. А., а потом перешел в лабораторию Минеева В. Н. Поскольку я с сотрудниками группы в основном, проводили эксперименты на БУТ-76 и внедряли методики измерений (емкостная, манганиновая, пьезоэлектрическая, тензоизмерения), ответственным за эксплуатацию и ТБ на установке вскоре назначили меня. С 1984 по 2002 годы ответственным за БУТ-76 был Лучинин В. И.

В первый год эксплуатации БУТ-76 не обошлось без нештатной ситуации. Когда опыт подготовлен, тормозная камера пристыковывается к вакуумной камере, где заканчивается ствол БУТ-76 и расположена сборка. Получается замкнутая система: камера высокого давления – ствол – вакуумная камера – тормозная камера. Тормозная камера стыковалась с вакуумной тремя мощными ручными струбцинами. В одном из опытов струбцины прикрутить забыли. После пуска тормозная камера отошла и в образовавшийся зазор устремилось избыточное давление. Сформировавшаяся воздушная ударная волна до боли сжала барабанные перепонки, с грохотом открыла входную дверь. Так мы впервые испытали на себе эффект воздействия слабой ударной волны. После этого случая струбцины заменили на пневматические “кльки”.

Конец 70–начало 80-х годов ознаменовали новым глобальным направлением работы лаборатории – разработкой и испытанием камер, локализирующих взрыв заряда ВВ. Минеев В. Н. уехал из города. Начальником лаборатории стал В. И. Цыпкин. Постепенно все силы лаборатории сосредоточились на этом направлении работ. Эксперименты на лабораторных установках практически приостановились. Отрицательную роль в судьбе установок отдела сыграло распоряжение начальника сектора Тимонина Л. М. о переводе лабораторных установок всех отделов в цокольный этаж нашего здания, поскольку освободились помещения, занимаемые столовой. Если БУТ-76 и располагался в цокольном этаже, то лазер и копер были на третьем этаже здания. В. И. Цыпкин неукоснительно выполнял распоряжения начальника сектора.

Первым печальная участь постигла ударный копер. Он был отправлен на площадку и складирован в сарай. Затем последовала очередь лазера. Он был разобран и помещен на цокольный этаж в выделенную комнату. Поскольку в это время практически все сотрудники лаборатории были заняты на новом направлении работ, времени привести лазер в рабочее состояние на новом месте у меня не было. Достаточно сказать, что на несколько лет была приостановлена работа над диссертацией. Работы с камерами вышли на новый уровень. Началась подготовка и проведение полигонных испытаний генератора “КОЛБА”. На комнату, где был складирован лазер, стали претендовать другие отделы. В результате распоряжением начальника сектора она была передана в другой отдел. Поскольку Цыпкин В. И. не жаловал лабораторные установки, то каких-либо решений об их сохранении он и не искал. Уезжая в командировку, Цыпкин В. И. распорядился освободить комнату в недельный срок и складировать лазер на площадке. Это означало похоронить уникальную установку. Благодаря поддержке Иванова А. Г. был найден вариант сохранения. Слегка потеснив БУТ-76, лазер был размещен в этом же помещении. В настоящее время лазерная установка оснащена бронекамерой и ведутся работы по инициированию лазерным излучением вновь разрабатываемых ВВ.

Трагическая судьба чуть не постигла ударный копер. В доперестроечное время отделами брались социалистические обязательства по сбору металлолома. Такая очередная компания проводилась на площадке под руководством заместителя начальника отдела Дракина В. П. Вдруг звонок с площадки от моих сотрудников: копер собираются загружать на грузовик и отправлять в

металлолом. Никаких доводов моих сотрудников В. П. Дракин не воспринимал и к телефону для разговора со мной не подходил. Пришлось срочно выезжать на площадку и стаскивать копер с грузовика, забитого под “завязку” металлом. После этого копер был привезен в корпус и установлен в помещении БУТ-76. Благодаря титаническим усилиям и поддержке начальника отдела теперь это единый работающий комплекс установок, позволяющий проводить исследования материалов (включая ВВ) и конструкций в широком диапазоне ударных нагрузок и времени нагружения.

Работа на полигоне Новой Земли

В опыте “Д-83” генератор “КОЛБА” был установлен на барже, которая была пришвартована к пирсу. От генератора по пирсу к фургонам с измерительной аппаратурой был проложен жгут примерно из 100 кабелей. Этот жгут после опыта должен быть перерублен с помощью ВВ, а баржа с генератором отбуксирована в безопасное место. Мы вместе с капитаном II ранга, ответственным за этот узел, провели 2 предварительных опыта с таким же набором кабелей. Опыты показали, что выбранное количество ВВ и его размещение надежно перерубают жгут. Подвергаемая испытанию военная техника размещалась на пирсе на различных рубежах от генератора. Последним к барже подошел эсминец. Вспоминается такой момент. За несколько часов до времени “Ч” мы с комиссией находились на пирсе у эсминца. Команда корабля была выстроена на палубе и по команде готовилась покинуть его. Спустили трап, прозвучала команда и первыми по трапу на пирс ринулись полчища крыс. Такое количество этих существ мне удалось увидеть впервые. При этом вспомнилась морская истина: первыми чувствуют угрозу и бегут с обреченного корабля крысы.

Как уже упоминалось выше, баржу с генератором после опыта должны были сразу отбуксировать в безопасное место. Это было связано также с проведением биологического эксперимента. На двух рубежах от генератора находились вольеры с собаками. Буксир располагался в 1 км от баржи и был сцеплен с ней металлическим тросом. На всем протяжении трос поддерживался на буйках, однако между ними провисал и опускался в воду.

В момент “Ч” мы находились вблизи вертолетной площадки за несколько километров от места испытаний. Я и еще двое сотрудников (Кнатов В. И. и Бирюлин В. П. из ОЛИТа), облаченные в костюмы радиационной защиты, ждали команды. Мы были первым “десантом”, который забросят к фургонам для съема информации после ухода баржи. Формированию “десанта” предшествовало следующее. Выстроив нашу команду, В. И. Цыпкин вызвал добровольцев. Ответом ему было молчание. Многие понимали, что вблизи пирса определенную опасность может представлять так называемая “наведенка”. Я-то понимал, что мне, как ответственному за методику КСК, в любом случае необходимо быть в фургоне. Но тоже промолчал, с интересом наблюдая, что будет дальше. Прозвучала следующая команда В. И. Цыпкина: “Коммунисты, шаг вперед!” Поскольку в строю коммунистом был я один, этот шаг был сделан. За мной шагнули еще двое сотрудников. Так был сформирован “десант”.

Момент “Ч” настал, самолет делал облет и замеры места опыта. Прошло около 40 минут, а команды не поступало. Все были взволнованы: что-то не так. Наконец, команда поступила, и мы поехали к фургонам. В чем же была причина задержки? На командном пункте № 1 (КП-1) находилась комиссия и командование, у них была возможность визуально наблюдать результаты опыта при помощи телеметрии. В момент “Ч” возник светящийся ореол ионизированного воздуха, затем сработало ВВ на жгуте кабелей. Была дана команда буксиру. Буксир чуть тронулся, трос слегка натянулся, а баржа осталась на месте. Последующие попытки стронуть баржу ничего не дали. В первый момент все решили, что жгут кабелей не перерублен. Этой версии оказалось достаточно, чтобы капитан II ранга, ответственный за этот узел, взял в руки топор и побежал к пирсу. Все понимали, на что решился офицер. Быстро перерубив жгут в другом месте, так как место подрыва было закрыто железной защитой, он вернулся на КП-1. Вновь была дана команда буксиру. Ситуация повторилась: баржа не стронулась. Тогда стала понятна причина случившегося: где-то в воде провисшая часть троса могла зацепиться за металлоконструкции, которыми было наполнено дно пролива. Потребовалось определенное время, чтобы раскатать трос, освободить его и отбуксировать баржу. Больше всех досталось собакам. В первом вольере стояла мертвая тишина, во втором – скулеж, который постепенно затихал. Это мы слышали, находясь у фургонов.

Хотя что собаки? Через год я вновь прибыл на полигон. Мне сообщили, что капитана II ранга, ответственного в опыте “Д-83” за узел подрыва кабельного жгута, комиссовали.

Б. М. Ловягин, А. А. Болотов, В. М. Муругов, В. И. Лучинин

Аппаратурные комплексы и методики для полигонов

Для разработки новой аппаратуры для газодинамических исследований в марте 1958 года был создан методический отдел 19 по инициативе Г. Д. Соколова, главного инженера сектора 3. Во главе отдела был поставлен А. А. Лукашев, отличающийся разносторонней технической подготовкой и инициативой в поиске перспективных разработок. В состав отдела 19 входили служба КИП, фотолаборатория, две группы прибористов и рентгеновская группа.

По инициативе А. А. Лукашева в ОКБ ИХФ АН СССР были разработаны новые осциллографы ОК-21 и ИВ-30, которые нашли широкое применение в работах ВНИИЭФ во взрывных экспериментах на внутренних и внешних полигонах в течение 10–15 лет. Широкому внедрению этих приборов способствовала разработка во ВНИИОФИ сильноточных детекторов гамма-излучений ЭЛУ-09, проведенная также по его инициативе.

Одновременно с внешними разработками в отделе 19 в инициативном порядке начались свои разработки высоковольтной установки ВУ-19 (ответственный А. А. Лукашев), а также регистратора РГ-19 (ответственный В. М. Муругов). Отличительной особенностью этих разработок от ранее выполненных,

например, высоковольтных установок ВУ±10 кВ, ВУ-60 кВ, ВУ-120 кВ и др., в том, что они были ориентированы на серийное изготовление при участии военной приемки.

В 1963 году отдел 19 возглавил В. А. Ивановский, при этом служба КИП и фотолaborатория были выделены в самостоятельные коллективы, а рентгеновская группа вошла в состав отдела 23. В отделе 19 остались 3 группы, которыми руководили В. А. Ивановский, В. М. Муругов и А. А. Болотов. Важными достижениями отдела 19 являлись следующие разработки:

- осциллограф специального назначения РГ-19 (В. М. Муругов, А. М. Андреев, М. В. Коротченко и др.), который с 1962 года использовался на внешнем полигоне и долгое время обеспечивал надежную регистрацию сигналов в условиях значительных помех от взрывного эксперимента;

- высоковольтный генератор ВУ-19, в разработке которого принимали активное участие И. К. Саккеус, А. А. Болотов, А. Т. Шитов, К. И. Филиппов, С. Н. Суханова и на начальной стадии В. К. Травкин. В конструировании высоковольтного коммутатора и выносного пульта управления большую изобретательность проявил И. К. Саккеус. Справедливости ради следует отметить большую роль В. А. Ивановского и А. А. Бородина в организации серийного выпуска ВУ-19 на ВНИИРИП в г. Вильнюсе. Генератор ВУ-19 начал широко использоваться во ВНИИЭФ и др. предприятиях МСМ для синхронного подрыва безопасных электродетонаторов, после чего прекратились несчастные случаи среди взрывников;

- генератор масштабных меток ГММ-2м, который обеспечил оптическую калибровку развертки скоростного фоторегистратора СФР-2м с целью повышения точности измерений (А. А. Болотов, И. К. Саккеус и др.).

С появлением в отделе 19 новой аппаратуры и новых сотрудников (В. М. Муругов, Ф. М. Гудин, В. Л. Гладченко, С. И. Бодренко, Е. З. Новицкий) началась новая для сектора 3 работа – полигонные испытания изделий. Что же было сделано по данному направлению?

1961 год – измерение времени фокусировки изделий в 3 наземных опытах.

1962 год – участие в физ. опыте ФО-2.

1963 год – участие в первом в СССР подземном испытании ЯЗ. К сожалению, из-за больших потоков излучений результаты и аппаратура в опыте были потеряны. Зато получен первый важный урок проведения подобных опытов, число которых позднее превысило сотню.

1965 год – проведение опытов НЦР на аппаратуре РГ-19. “Результаты измерений великолепны”, – отмечал Ю. С. Замятин, научный руководитель.

1965 год – В. А. Ивановский защитил кандидатскую диссертацию по разработке генератора ВУ-19, первым во ВНИИЭФ из разработчиков аппаратуры.

1966 год – измерение мощности 2 изделий методом МГШ (ответственный Р. Ф. Трунин). Для этой цели В. М. Муругов (сектор 3) и А. И. Шишкин (сектор 14) предложили использовать аппаратуру СК для передачи сигналов МГШ во избежание потерь информации об измерениях в случае гибели регистраторов при внештатных ситуациях. Позже телеметрия сигналов МГШ блестяще оправдала свое назначение в “страшном” по разрушению опыте на горе Черная. Об этом вспоминал Р. Ф. Трунин в своей книге “Рядом с эпицентром

взрыва”. Следует отметить, что хорошие идеи не умирают без пользы для дела, нужно лишь иметь мужество дожидаться “своего” часа.

1967 год – опыт по изучению механического воздействия рентгеновского излучения с участием телеметрии (ответственный С. А. Новиков).

Краткий перечень этих работ показывает, что отдел 19 успешно справлялся с возложенными на него задачами по разработке новой измерительной аппаратуры и сверх того заложил основы полигонных измерений по различным научным направлениям. По мнению ведущих сотрудников, отдел вносил заметный вклад в работы сектора 3 и института в целом.

Особенно активно все достижения отдела 19 использовались в лаборатории 1 отдела 26, с которой сложился тесный творческий контакт.

В начале 1968 года на заседании НТС В. А. Ивановский предложил реорганизовать методический отдел 19 в лабораторию 3 отдела 26 для оперативного решения методических проблем, связанных с газодинамической отработкой изделий. Он считал, что участие во взрывных опытах разработчиков аппаратуры позволит им с большей эффективностью совершенствовать методы измерений. НТС поддержал это предложение, и с 1 марта 1968 года лабораторию 3 в составе отдела 26 возглавил В. А. Ивановский.

А что стало с сотрудниками отдела 19, которые в это время находились на внешнем полигоне и были огорчены случившемся? А. А. Лукашев до 1973 года работал зам. директора НИИ интересоскопии в Кишиневе. В стране и за рубежом он широко известен своими работами по дефектоскопии конструкций с помощью ультразвука. В. Л. Гладченко перешел в сектор 4 с идеей создания методики МПИ, которую разработал и внедрил на полигоне с помощью А. И. Павловского и его сотрудников. В дальнейшем он стал доктором наук.

В. М. Муругов перешел в отдел 24 и работал под руководством С. Б. Кормера, где реализовал свои творческие возможности при активной поддержке руководства отдела и института. Он внес конкретный вклад в создание сверхмощных лазеров и мощных лазерных установок по АТС национального масштаба “Искра-4” и “Искра-5”, а также диагностической аппаратуры для регистрации лазерного излучения ИК-диапазона и параметров излучений плазмы с временным разрешением в единицы пикосекунд. Некоторые из созданных приборов не имеют аналогов в мире и успешно работают в лабораториях России и США. В дальнейшем он стал доктором наук.

Ф. М. Гудин уехал работать в НИИИТ (г. Москва), а по возвращению во ВНИИЭФ стал профессиональным испытателем спецзарядов и в течение многих лет возглавлял коллектив сектора 14.

Тем не менее новая лаборатория 26/3 состояла из опытных в разработке аппаратуры инженеров, а также молодых специалистов из ЛЭТИ (Б. М. Ловягин, Т. В. Трищенко).

В 1972 году В. А. Ивановский перешел на партийную работу. Жители Сарова до сих пор помнят его патетические речи в годы застоя. Лабораторию 26/3 (позже 0309/3) возглавил Е. З. Новицкий, основным направлением ее стало исследование свойств пьезокерамики и разработка взрывных пьезогенераторов на их основе. При этом только группа А. А. Болотова сохранила прежнюю ориентацию по разработке аппаратуры, участвуя с группой Б. С. Калаш-

никова и другими сотрудниками лаборатории 26/1 в опытах по газодинамической отработке изделий.

В июне 1989 года образовался самостоятельный сектор 0309/5, который возглавил Б. М. Ловягин, целью его создания было обеспечение испытаний макетов зарядов на внутренних и внешних полигонах. Методические разработки продолжались непрерывно и в разных направлениях, хотя состав прибористов плавно сокращался.

Фотохронографическая методика

С 50-х годов отдел 26, ныне отдел 0309, был ведущим в разработке и использовании фотохронографической методики, родоначальниками которой были А. Д. Захаренков и Н. А. Казаченко. Они первыми провели фоторегистрацию быстропротекающего исследуемого процесса. По их техническому заданию А. С. Дубовик в Институте физики Земли (г. Москва) разработал промышленную сверхскоростную фоторегистрирующую установку типа СФР, которая стала выпускаться на Красногорском оптико-механическом заводе.

Установка СФР позволяла управлять одной скоростной фотокамерой, но при необходимости, предусматривала спаренную работу 2 установок: одна из них работала в режиме командной, а другая была ведомой. В таком режиме синхронизация фотокамер наступала с задержкой в несколько секунд из-за вероятностного совпадения синхроимпульсов и не всегда устраивала экспериментаторов.

Типовой диапазон скоростей развертки у СФР составлял от 0,375 до 3,75 км/с. Большинство исследований проводились при скоростях развертки от 1,5 до 3,0 км/с.

С началом разработки массивных, неразрушаемых контейнеров, а также неядерных кумулятивных зарядов, требовались скорости развертки менее чем 0,375 км/с. Эта задача была решена за счет модернизации электронной схемы пульта управления СФР (Б. М. Ловягин) и изменения параметров мультипликатора в фотокамере СФР (А. А. Болотов).

С 1972 года установка СФР начала применяться для фоторегистрации низкоскоростных процессов, поскольку модернизированный пульт СФР имел расширенный диапазон скоростей развертки, от 0,0375 до 3,75 км/с, и мог использоваться как с тихходной, так и со скоростной фотокамерами [1].

С 60-х годов в отделе 26 использовались уникальные строенные пульта управления СФР-3к специальной разработки, обеспечивающие одновременную работу до 3 фотокамер СФР. Они являлись большим достижением того времени, так как позволяли увеличить объем и надежность информации при исследовании быстропротекающих однократных процессов. Управлялся этот пульт сразу 3 операторами, которые вручную устанавливали необходимые скорости развертки в каждой фотокамере СФР по одному переключаемому стрелочному тахометру и трем электронно-лучевым тахоскопам (по “пикам”). В 1970 году в эти пульта Б. М. Ловягин установил дополнительные стрелочные тахометры, после чего операторы стали работать независимо и быстрее, чем экономили ресурс работы фотокамер СФР, время работы кото-

рых было ограничено 2 минутами. Все стрелочные тахометры были дополнены пределом измерений для управления и тихоходными фотокамерами СФР. В таком исполнении строенный пульт использовался в экспериментальных работах, по крайней мере, до 1978 года (виден с правой стороны на фотографии).



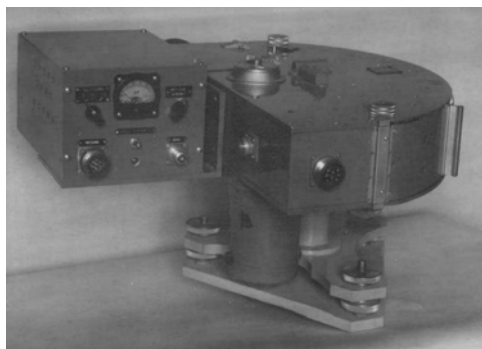
Прибористы в пультовой комнате полигона 3/1: А. С. Дементьев, Б. М. Ловягин, А. А. Порфирьев, А. А. Болотов. 1978 год

Известно, что при фоторегистрации исследуемых процессов фотокамерой СФР нелинейность скорости развертки составляет $\pm 0,5\%$. Эта погрешность связана с толщиной вращающегося зеркала, поскольку отражающая плоскость этого зеркала не проходит через центр вращения.

Для повышения точности измерений в 1958 году А. А. Болотов под руководством В. К. Чернышева в дипломной работе показал возможность калибровки развертки СФР метками времени. В начале 1960 года было изготовлено несколько генераторов масштабных меток типа ГММ-2м, в которых в качестве модулятора света от импульсной лампы использовалась ячейка Керра с частотами модуляции 5 и 10 МГц, стабилизированными кварцем. За счет оптической калибровки, погрешность измерений временных интервалов снизилась до $0,1\%$. Этот способ был защищен авторским свидетельством в 1966 году.

Установленные на фотокамеры ГММ-2м использовались в отделах 22 и 26 при скоростях развертки 2,25 и 3,0 км/с.

Дальнейшее усовершенствование калибратора выполнили в 1972 году дипломники Н. В. Ильин под руководством А. А. Болотова (модулятор света) и Т. М. Фоломеева под руководством Б. М. Ловягина (блок



Фотокамера СФР с ГММ-2м

генераторов стабильных частот). Успех Т. М. Фоломеевой отмечали, в том числе и у руководителя дипломной работы, добрым грузинским вином.



Кустов В. С., Кочкин Л. И., Васильев Л. В., Фоломеева Т. М.
23 июня 1972 год

А чуть позже молодые ученые тоже радовались успешному завершению экзаменов при аспирантуре ВНИИЭФ.

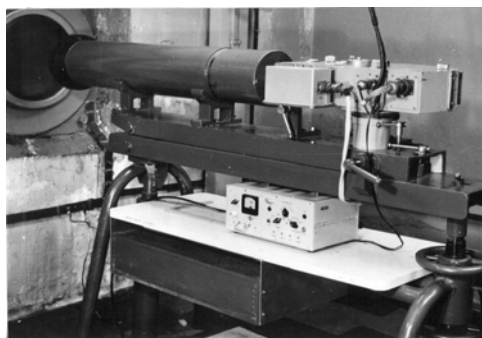


Преподаватели и аспиранты ВНИИЭФ после экзамена по философии
14 июля 1972 год

В 1973 году в отделе 3403 была выпущена КД АР1508 на 2-канальный датчик времени (ДВ-2). Для этого прибора А. А. Болотов разработал 2-канальную ячейку Керра, которая обеспечивала регистрацию как меток времени, так и нулевой отметки, характеризующей начальный момент исследуемого процесса. Для управления этой ячейкой Керра Б. М. Ловягин разработал энергоемкий генератор напряжением 400 В и частотой модуляции 10, 5, 2, 1 и 0,1 МГц.



а



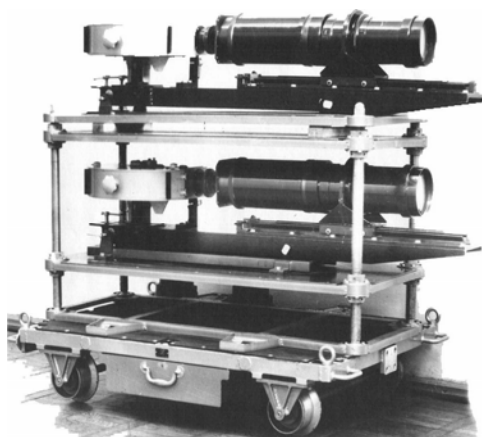
б

Фотокамеры с входными объективами 8/210 (а) и 5/750 (б), оснащенные ДВ-2

Для входного объектива СФР 5/750 разработали ирисовую диафрагму, которая удобно устанавливалась на его тубус снаружи. При работе с ней не требовалось диафрагмировать внутренний объектив фотокамеры, чтобы не ослаблять модулированный свет от ДВ-2. Несколько фотокамер СФР были оснащены датчиками времени ДВ-2 и успешно использовались в газодинамических экспериментах для повышения точности измерений.

В том же 1973 году Т. В. Трищенко показала возможность нанесения масштаба времени на кадр СФР в режиме лупы времени, что позволило более точно измерять время между соседними кадрами исследуемого процесса.

В плане подготовки к проведению испытаний газодинамических макетов (ГДМ) на ГОСЦНИИП-2 была разработана 2-ярусная фотоустановка, на которой размещались две фотокамеры СФР вместе с ДВ-2 и длиннофокусными объективами типа Телемар 8/1200. Выбраны входные объективы длиннофокусными, поскольку из-за радиационного излучения ГДМ допустимое по санитарным нормам расстояние от них до персонала, работающего с фоторегистрирующей аппаратурой, должно превышать 25 м. Один из этих объективов



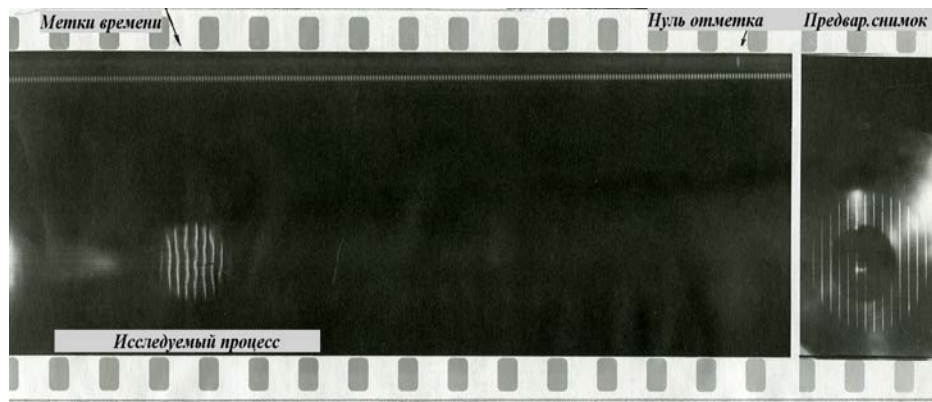
Двухъярусная установка

был привезен во временное пользование из музейного хранилища Государственного оптического института (г. Ленинград).

Управлялись фотокамеры строчным пультом СФР-3к через пульт дистанционного управления (ПДУ), который выдавал все необходимые пусковые команды на расстояние до 3 км и имел усилитель звука для контроля подрыва ГДМ за бетонной забивкой. Отдельные узлы ПДУ разработали дипломники С. Н. Модин, Т. Я. Поторочина и А. А. Гирин под руководством Б. М. Ловягина. Подготовленный к испытаниям фотохронографический комплекс был отлажен на внутреннем полигоне 3/1 с целью синхронного запуска подрывного генератора ТБА-47.

В 3-м квартале 1975 года по приказу директора ВНИИЭФ Л. Д. Рябева экспедицию на Семипалатинский полигон возглавил Е. З. Новицкий. Ответственным за аппаратуру был Б. М. Ловягин, за физизмерения – Б. Ф. Рождественский и Ю. С. Пономарев, опытным испытателем, знающим досконально полигон 2 – М. В. Коротченко, а основными помощниками были А. Ю. Иванов и С. И. Максимов. За дозиметрический контроль отвечал П. С. Королев. Технология проведения этих физопытов была аналогична той, которую использовали на внутренних полигонах ВНИИЭФ, т. е. подрыв и измерения параметров ГДМ обеспечивала малочисленная экспедиция отдела 0309.

Уникальность полученных фотохронограмм заключалась в наличии на ней меток времени и нулевой отметки, что позволило, помимо асимметрии, оценить динамические характеристики ГДМ.



Фотохронограмма опыта

По результатам трех физопытов с ГДМ был выпущен отчет, который высоко оценил научный руководитель ВНИИЭФ Ю. Б. Харитон. Он долгое время хранил в своем кабинете растровые снимки, полученные в физопытах.

В 1976 году на 5-й Газодинамической конференции авторы выступили с докладом “Многоканальные приборы на ячейках Керра типа ГСИ-100 и ДВ-2” о преимуществах оптической калибровки, а в 1977 году была опубликована статья в “Журнале научной и прикладной фотографии и кинематографии” [2].

Интерес к ДВ-2 проявило СКБ (г. Свердловск-45) и в долгой переписке приценивалось к прибору. В то время разработчики А. А. Болотов и Б. М. Ло-

вягин не смогли найти другого решения, как подарить ДВ-2 просящим, и лично установили его на испытательном полигоне 6 серийного предприятия ЭХП в 1978 году. Восторгов по поводу прибора было много, однако впоследствии применять его для испытаний серийной продукции не стали по формальной причине – он отсутствовал в ОСТе по испытанию БКР. Включить его в ОСТ не удалось, так как прибор не был промышленным. Желая иметь серийный тип такого прибора, сотрудники лаборатории 26/3 обратились с ТЗ в НИИИТ (г. Москва) и в 1981 году на базе прибора ДВ-2 там была завершена разработка генератора меток времени СГС-57.

Однако из-за значительных габаритов, генератор СГС-57 так и остался опытным образцом и не стал выпускаться серийно.

Аттестацию серийных блоков контроля распределителей (БКР) продолжали проводить без оптической калибровки, применяя для надежности одновременно два фоторегистратора, которые настраивали через две раздельные амбразуры, преодолевая определенные трудности в настройке.

В 1982 году для упрощения оптической настройки, применительно к методике БКР, А. А. Болотов предложил осуществлять параллельную фоторегистрацию через один входной объектив с разделением изображения одновременно на две фотокамеры. При макетировании установки двойной фоторегистрации были найдены новые технические решения. В разработке участвовали также Б. М. Ловягин, В. И. Дудолодов, Л. Л. Кочкин и В. Е. Зотов.

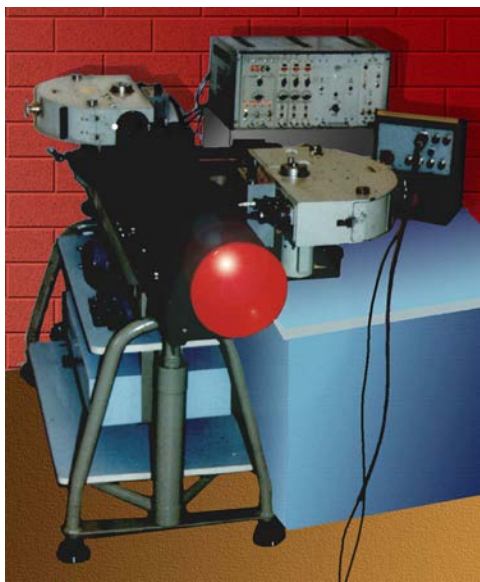
В марте 1989 года А. А. Болотов ушел на пенсию, но разработка нового фоторегистратора продолжалась и в 1998 году завершилась выпуском КД на скоростную фоторегистрирующую двухканальную установку УСФ-2. Она стала уникальной для фоторегистрации взрывных процессов, поскольку настройку на две фотокамеры осуществляли через одну амбразуру. Для этой установки в НИИ космической оптики (г. С.-Петербург) разработали комплект входных объективов ОБК-5 8/1200 и ОБК-14 8/750 с фокусным расстоянием 1200 мм и 750 мм, соответственно.

Уникальность новой установки заключалась в возможности регистрации исследуемого явления одновременно двумя фотокамерами через один входной объектив, чем устраняется оптический параллакс изображения и повышается надежность регистрации дорогостоящих, однократных процессов.

Обе фотокамеры УСФ-2 оснащены лазерными калибраторами и настраиваются одновременно. Управляются они независимо и поэтому обеспечивают как параллельную (дублирующую), так и последовательную фоторегистрацию исследуемого процесса с одинаковыми или различными скоростями развертки. Любая из этих фотокамер может регистрировать исследуемый объект через щель или растр, что позволяет сократить количество дорогостоящих ис-



Внешний вид генератора меток времени СГС-57. НИИИТ, 1981 год

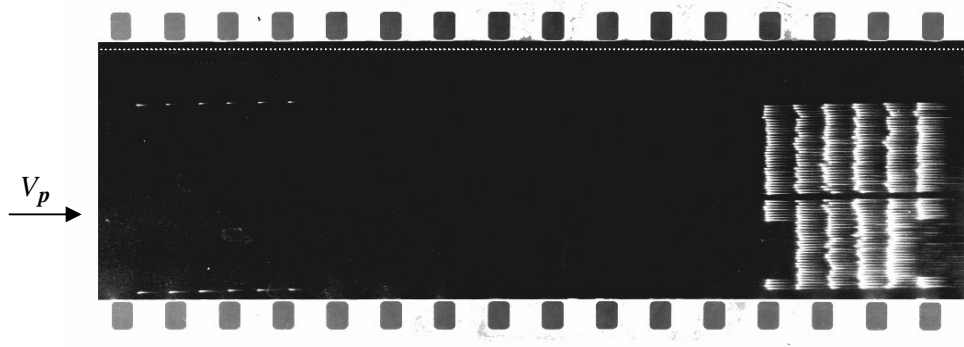


Скоростная фоторегистрирующая двух-
канальная установка УСФ-2

питаний. Третий блок управления в пульте может работать с дополнительной фотокамерой СФР.

УСФ-2 метрологами ОЛИТ была сертифицирована как измеритель временных интервалов, включена в реестр измерительной техники и допущена к применению в Российской Федерации. С 1998 года УСФ-2, наряду с установкой СФР-2м, стала успешно применяться для испытаний БКР в соответствии с аттестованной методикой АОД60.173 не только во ВНИИЭФ, но и на серийных заводах ЭХП и ПСЗ. При наличии на фотопленке меток времени, погрешность измерений временных интервалов на УСФ-2 снизилась в 5 раз по сравнению с регистрацией на СФР-2м, и составила не более 0,1 %.

Следует отметить важное обстоятельство, выясненное при сравнении результатов измерений с использованием различных фотокамер (с метками времени и без них), которое заключается в том, что десятки лет время работы БКР измерялось с помощью СФР-2м с систематической погрешностью 0,15–0,2 мкс, поскольку не учитывалась нелинейность развертки.



Типовая фотохронограмма БКР при использовании УСФ-2

Калиброванная развертка УСФ-2 позволила исключить эту погрешность и поправить в КД номинальные значения для серийно изготавливаемых БКР. Для этого потребовалось 20 лет усердного труда энтузиастов, чтобы преодолеть все формальности, связанные с серийным производством.

Фоторегистраторы СФР и ВФУ перестали выпускаться с 1980 года, а имеющиеся в эксплуатации образцы физически изнашивались и требовали заме-

ны. Организация производства во ВНИИЭФ новых установок УСФ-2 для своих нужд и нужд серийных предприятий явилась большим достижением в период кризиса в стране. Энтузиастами этого производства были Б. М. Ловягин, В. А. Губачев, В. В. Баканов, С. М. Батьянов и В. П. Кислинский с группой конструкторов.

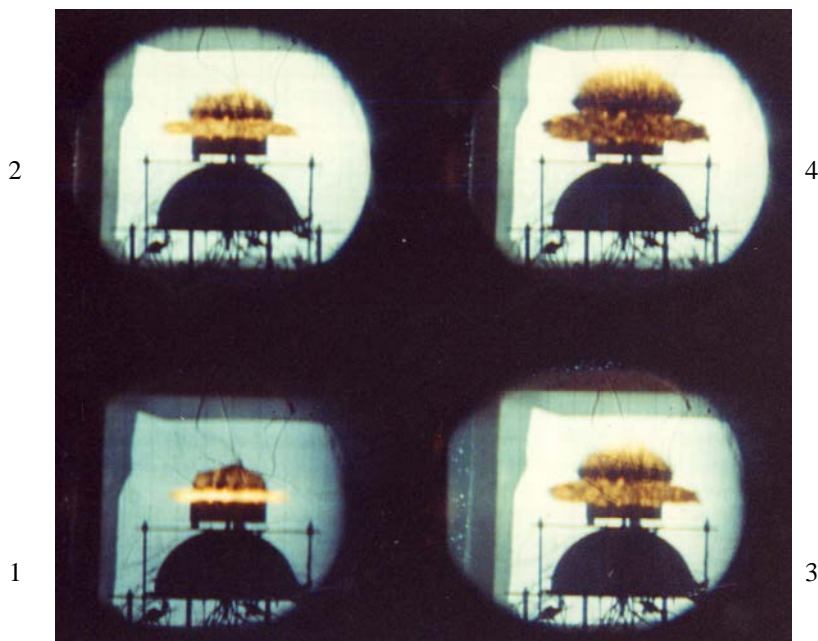
УСФ-2 защищена двумя авторскими свидетельствами и двумя патентами РФ [3–6], причем последний патент признан пионерским (в формуле изобретения отсутствует ограничительная часть).

С внедрением двух подрывных установок с задержками по пуску, стало возможным делать опыты с подсветкой, которая в значительной степени улучшала качество изображения при скоростной фотосъемке.

С 2000 года сотрудники отд. 0309 Б. М. Ловягин, В. И. Дудолодов, А. А. Порфирьев, А. В. Романов и Е. В. Савинов начали внедрять цветную фоторегистрацию быстропротекающих процессов с использованием УСФ-2. Сначала с осторожностью, чтобы не потерять информацию, заряжали одну из фотокамер УСФ-2 цветной фотопленкой, а другую – черно-белой.

Важным достоинством цветной фоторегистрации является исключительная достоверность и качество зарегистрированного изображения, что позволяет различить дополнительные эффекты физического эксперимента в сравнении с черно-белым изображением. Впервые этим достоинством воспользовался Л. И. Кочкин в 1959 году.

Благодаря инициативе Б. М. Ловягина, В. В. Баканова и Н. И. Кануновой, трудности с цветной печатью были преодолены в 2003 году после приобретения и введения в эксплуатацию фотоминилаборатории *MASTER LAB*⁺.



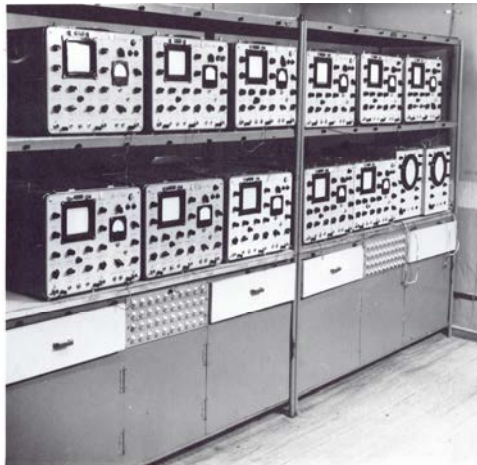
Развитие процесса взрыва, наблюдаемое с использованием лупы времени и взрывной подсветки

Фотолаборатория ИФВ начала изготавливать высококачественные цветные снимки взрывных опытов, а главное, требуемых размеров, с нужным кадрованием. Исследуемый процесс с использованием 2-рядной лупы времени и взрывной подсветки представлен на фото со с. 189 (очередность кадров указана на цифрами).

Таким образом, в отделе 0309 фотохронографическая методика продолжала свое развитие и стала не только самым наглядным и информативным инструментом по изучению быстропротекающих процессов, но и достаточно точным, благодаря оптической градуировке развертки метками времени. Оснащенность фоторегистраторами в отделе 0309 десятки лет продолжала сохраняться самой высокой и не только в ИФВ, но и во всем РФЯЦ-ВНИИЭФ за счет усилий специалистов малочисленного сектора 0309/5 и особенно самого руководителя Б. М. Ловягина.

Осциллографический и электрооптический методы измерения временных интервалов

Электронно-лучевые осциллографы использовались для измерения временных интервалов с 50-х годов с нарастающей интенсивностью. Разрабатывались они по специальным заданиям в ОКБ ИХФ АН СССР: с линейной разверткой от ОК-17 до ОК-33 и круговой разверткой от ИВ-13 до ИВ-36. На испытательном полигоне осциллографы занимали обширное пространство, но спрос на измерительные каналы все возрастал.



Актуальной стала разработка многоканального электрооптического метода измерения временных интервалов, принцип которого заключался в фоторегистрации на пленку оптического излучения, возникающего при срабатывании электроконтактных датчиков.

В 1959 году впервые этот метод использовал Б. С. Калашников для определения симметрии и динамики осесимметричных зарядов. Вместо оптического приемника на определенном радиусе измерения был установлен измерительный приемник с кон-

тактными датчиками. Для защиты датчиков от преждевременного замыкания их воздушной ударной волной, перед контактами с зазором порядка 1 мм устанавливался стальной экран. При таком способе определения симметрии необходимо было использовать сотни контактов, установленных на радиусе измерения и иметь такое же количество независимых каналов регистрации.

Успешному развитию этого метода способствовали разработки многоканальных искровых генераторов, выполненные различными авторами: В. Татарским (1955 год), Б. В. Войцеховским (1956 год), Л. Л. Лебедевым (1957 год), А. М. Андреевым (1958 год).

Последняя модификация 100-канального генератора искровых импульсов ГИИ-100 (без фотокамер СФР) показана на фотографии.

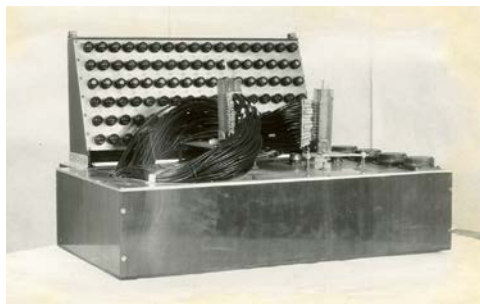
Как любое пороговое устройство, искровые генераторы обладали недостатком, связанным с задержкой в срабатывании искрового промежутка на величину фронта пускового импульса. Очевидной мерой для уменьшения фронта пускового импульса является коаксиальная конструкция датчиков. Но реализация этого требования осложнялась значительным напряжением на датчиках (порядка 800 В), а невыполнение его неоднократно приводило к взаимному влиянию каналов в процессе газодинамического опыта и к произвольному срабатыванию всех или части искровых промежутков. По этой причине часть измерений (для контроля) приходилось дублировать осциллографами с круговой разверткой типа ИВ-30, которые обеспечивали более высокую точность и надежность результатов измерений, а затем отбраковывать сомнительные результаты.

С целью снижения напряжения на датчиках до 200 В И. К. Саккеус и Ю. М. Дудукин разработали в 1960 году тиратронный генератор искровых импульсов на 50 каналов (ТГИИ-50), а Е. З. Новицкий и Г. С. Степанов в 1963 году – искровое трансформаторное устройство на 50 каналов (ИТУ-50). Первый из них отличался большими габаритами и стабильно яркими искрами, а другой – малыми габаритами, но не всегда яркими искрами.

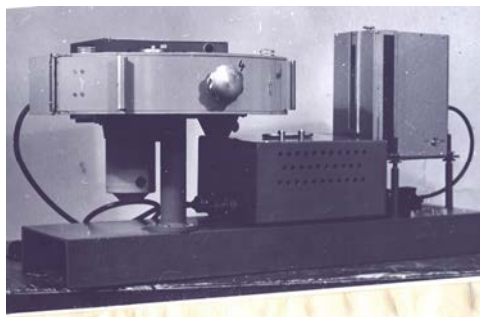
В лучших образцах этих искровых генераторов величину разброса времени срабатывания каналов удалось снизить до 0,05 мкс, и эта величина определяла временное разрешение метода. Особое беспокойство вызывало взаимовлияние каналов, когда от электрической наводки могли сработать почти все искровые промежутки.

В период с 1967 по 1973 годы важные достоинства нитробензольных ячеек Керра в качестве многоканального модулятора света были использованы А. А. Болотовым, И. К. Саккеусом и Б. М. Ловягиным при разработке первого 50-канального электрооптического генератора [7] и в дальнейшем более перспективного ГСИ-100, который стал основой многоканального электрооптического комплекса.

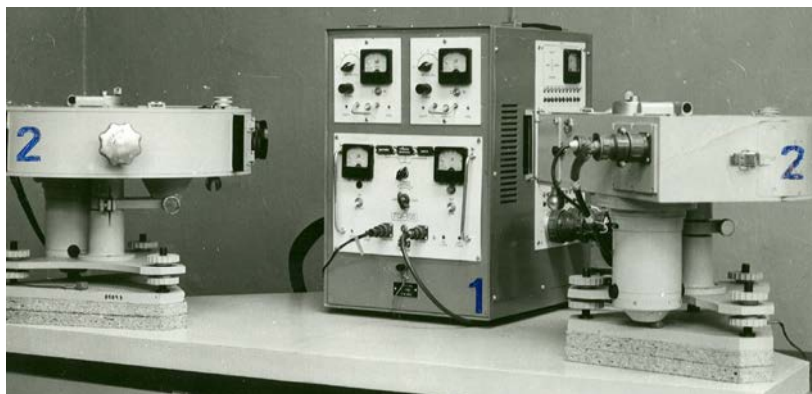
Эксплуатация ГСИ-100, как и ГИИ-100, осуществлялась совместно с двумя камерами СФР, каждая из которых со скоростью до 3 км/с обеспечивала единую развертку во времени 50 сигналов от электроконтактных датчиков.



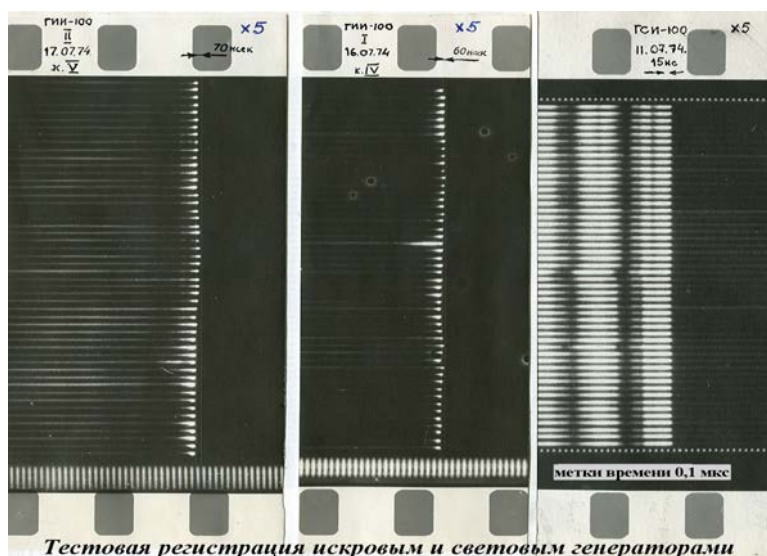
100-канальный генератор искровых импульсов ГИИ-100



ИТУ-50 с фотокамерой СФР и ГММ-2м



Многоканальный электрооптический комплекс



Контрольные снимки при одновременном запуске каналов

В сравнении с многоканальными искровыми генераторами, генератор ГСИ-100 позволил при напряжении на контактных датчиках 200 В уменьшить разброс в срабатывании каналов до 0,02 мкс.

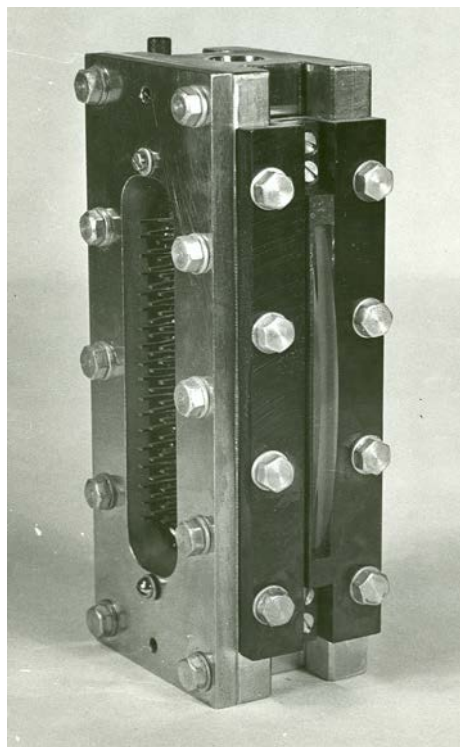
Преобразование электрических сигналов в световые в ГСИ-100 осуществлялось с помощью двух 52-канальных нитробензольных ячеек Керра. Устройство этой ячейки Керра является уникальным и большим достижением творческой мысли конструкторов Н. А. Манулова, и Е. Д. Вишневецкого, виртуоза стеклодувного производства Ю. К. Барсукова и руководителя разработки А. А. Болотова. В ней 50 каналов предназначались для регистрации сигналов от датчиков, а 2 – для записи меток времени.

При использовании ГСИ-100 повысилась надежность проводимых испытаний из-за отсутствия ложных срабатываний, свойственных искровым генераторам, а за счет оптической калибровки развертки метками времени по двум

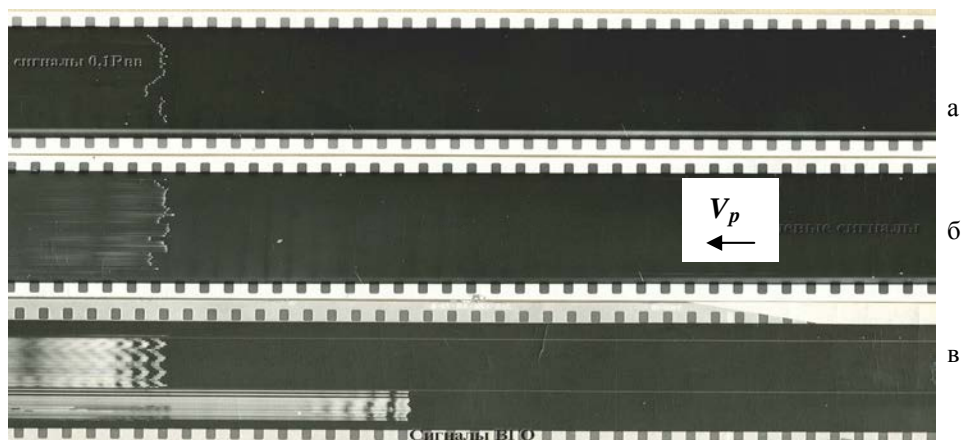
отдельным каналам относительная погрешность измерений временных интервалов снизилась до 0,1 % при доверительной вероятности 0,95.

Для ГДО макетов ЯЗ электрооптический метод начал использоваться в 1974 году, вначале одновременно с ГИИ-100 и тремя фотокамерами СФР, управляемыми от уникального строенного пульта управления СФР-3к.

При ГДО макетов ЯЗ в каждом опыте сигналы регистрировались тремя фотокамерами СФР от 150 контактных датчиков, установленных на измерительном приемнике. Сигналы с трех больших разъемов поступали на камеры СФР, а маленький разъем был связан с осциллографами типа ИВ-30, которыми дублировались измерения по отдельным каналам. На измерительный приемник через емкость поступали “нулевые” сигналы с датчика “нулевых” импульсов (ДНМ), возникающие в момент подачи инициирующего импульса на ЭД.



Двухканальная ячейка Керра



Фотохронограммы, полученные с использованием ГИИ-100 (а, б) и ГСИ-100 (в)

“Сшивка” по времени нескольких фотохронограмм обеспечивалась “нулевыми” и связующими сигналами, которые одновременно регистрировались на всех фотопленках. Оптическая калибровка метками времени осуществлялась дополнительными каналами.

Регистрация сигналов электрооптическим методом оказалась более наглядной, а главное, более надежной ввиду отсутствия ложных срабатываний

измерительных каналов. Тем не менее осциллографический разъем долгое время Ю. В. Лисицын оставлял для контроля. В целом внедрение новых приборов проходило с большим трудом и осторожностью.

Ответственность за проведение опытов лежала на группе Б. С. Калашникова, а тушить пожары после опыта было святым делом каждого участника эксперимента, хотя и не безопасным. Однажды Б. М. Ловягин наткнулся на почти целую шашку из взрывчатого материала диаметром 120 мм, к которой приближался по траве огонь. Ему удалось “спасти” шашку от огня, а затем уничтожить ее по инструкции.



“Великолепная семерка” на полигоне 3/1: Е. В. Савинов, В. Н. Коннов, Ю. В. Лисицын, А. И. Чеканов, Ю. С. Пономарев, В. Д. Фомкин, Б. С. Калашников. 8 февраля 1974 года

После опыта 16 марта 1976 года.
В. С. Подувальцев, К. А. Драгунов

Для снижения пожароопасности леса на территории полигона ежегодно в апреле устраивались субботники.



Апрельский субботник по очистке леса на полигоне 7 завершен. 1977 год

В период 1975–1977 годов опытные работы отдела 26 проводили на полигоне 7, поскольку каземат 3/1 перестраивали. Только в 1978 году группа А. А. Болотова начала оснащать его аппаратурой.



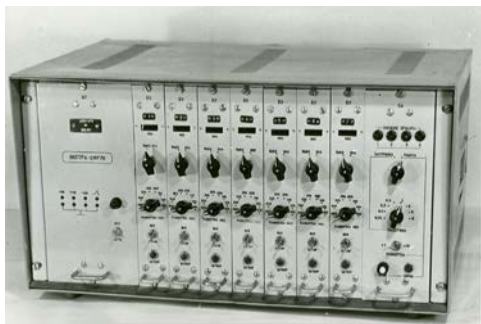
Группа А. А. Болотова (крайний слева) в новом каземате 3/1: А. А. Порфирьев, А. Н. Башилов, Б. М. Ловягин и А. С. Дементьев. 1978 год

В новом помещении 3/1 первым делом смонтировали пульт дистанционного управления подрывом и измерительным комплексом, ввели в эксплуатацию 4-канальный пульт управления фотокамерами СФР, а также два прибора ГСИ-100, и за счет этого увеличили до 200 количество измерительных каналов электрооптической методики.

Ответственным за помещение назначили А. А. Порфирьева, который при монтаже оборудования удачно использовал свои художественные способности. Все надписи в помещении были четкими, а бирки – аккуратными.

Прибористы В. С. Подувальцев, А. Н. Башилов и Б. Л. Кучаев совместно с Б. М. Ловягиным провели большую работу по монтажу нового оборудования. Работали все сотрудники с большим энтузиазмом, осваивая новое просторное помещение, которое было реконструировано благодаря усилиям Л. В. Васильева и новой тематике в его лаборатории (соударения ГЧ с преградой).

С 1981 года информативность опытов по ГДО резко возросла до 350 каналов за счет применения пульта “Экстра СФР-7к”, который позволял использовать одновременно до 7 фотокамер СФР, что явилось большим достижением для того времени. При разработке этого пульта применили два новых технических решения, на которые получены авторские свидетельства на изобретения.



Пульт управления “Экстра СФР-7к”

Все приборы электрооптического комплекса разрабатывались в рамках НИР (В. С. Горкунов, Б. М. Ловягин, Е. Д. Вишневецкий, Н. Д. Анохин), изготавливались на опытном заводе ВНИИЭФ, настраивались Б. М. Ловягиным и без промедления использовались в опытах под бдительным авторским надзором. Все замеченные при эксплуатации недостатки быстро устранялись, и аппаратура становилась еще более надежной и простой в эксплуатации. Метрологический надзор за кварцевыми генераторами для меток времени в ГСИ-100 обеспечивали метрологи контрольно-поверочного бюро сектора 3 (ныне ИФВ) под руководством С. М. Малышева.

В соответствии с ТЗ на ОКР в конце 1982 года в НИИИТе завершилась разработка генератора типа СГС-56, который должен был заменить ГСИ-100.

Опытная эксплуатация СГС-56 не выявила его преимуществ по сравнению с ГСИ-100. Хотя он имел 150 каналов, но это достоинство из-за больших габаритов не стало решающим для внедрения его взамен ГСИ. Единственный экземпляр генератора СГС-56 (на фотографии показан без второй фотокамеры) был передан в отдел 0308.



Генератор СГС-56

Электрооптический комплекс, выполненный на базе ГСИ-100, сохранил статус средства измерения для ГДО, и на его основе впервые разработана и аттестована “Электрооптическая методика измерений временных интервалов при взрывных испытаниях, АОИП-832”. В соответствии с аттестованной методикой электрооптический комплекс начал широко использоваться как для ГДО, так и для исследования процесса соударения ГЧ с преградой, исследования прочностных свойств взрывозащитных камер, измерения параметров кумулятивных зарядов и других изделий ВНИИЭФ.

По новым разработкам и аттестации электрооптической методики для ГДО Б. М. Ловягин защитил кандидатскую диссертацию в 1984 году.

Вскоре электрооптический комплекс стал “народным”, с ним легко мог справиться любой экспериментатор, настолько прост он был в управлении. Прибористы слаженно работали с газодинамиками в одной “упряжке”, и от

этого каждый выигрывал, перенимая опыт друг у друга. Возможности у пульта расширялись, а опыты становились все изощреннее и информативнее.



“Подрыватели” зарядов у пульта управления: Ю. С. Пономарев, Б. М. Ловягин, Б. П. Дегтярев. 1989 год

Основной состав сотрудников отдела 0309, который обеспечивал получение важной экспериментальной информации на передовом рубеже экспериментальной физики, представлен на фотографии.



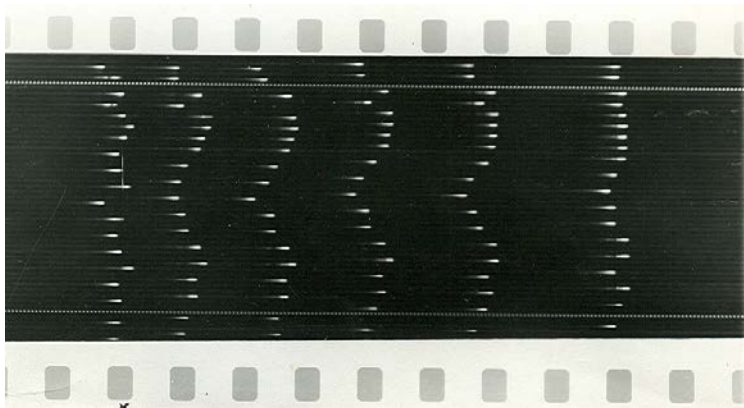
Передовики экспериментальной физики на полигоне 3/1: В. Д. Фомкин, А. А. Порфирьев, А. А. Березин, С. Д. Миронов, В. Н. Коннов, Б. М. Ловягин, Ю. С. Пономарев, Б. П. Дегтярев, К. А. Драгунов, А. В. Петражицкий, В. С. Подувальцев. 1989 год

Со временем кропотливая работа с ячейками Керра принесла А. А. Болотову свои плоды. Вакуумная сушка ячеек обеспечивала высокую изоляцию в измерительных каналах, за счет этого увеличивался срок службы многоканальных модуляторов света. Усилиями Б. М. Ловягина и его помощников аппаратура электрооптического комплекса становилась все качественней и приобретала дополнительные возможности. Методика ГСИ, как часто называли ее в отчетах, успешно работала совместно с фотохронографическим методом на полигонах 3/1, 2/2 и 2/5, а также с рентгенографической методикой.



Прибористы Б. М. Ловягин, В. И. Дудолодов, Л. Л. Кочкин.
1996 год

Кроме того, электрооптическую методику использовали В. А. Могилев на полигоне 22 ВНИИЭФ и А. Г. Бубнов на полигоне 9 ВНИИТФ. Последний проявил изобретательность и на одном подаренном ГСИ-100 регистрировал до 300 импульсов от последовательного срабатывания во времени спиральных датчиков (до 6 контактов на канал), применяя формирователи сигналов.



Фотохронограмма опыта при последовательном срабатывании
спиральных датчиков (ВНИИТФ, 1978 год)

Электрооптическая методика использовалась на ЦП РФ в 1996 году. Экспедицию возглавляли Ф. М. Гудин и М. Ф. Мокшенков. Ответственным за физизмерения был Б. Ф. Рождественский, за измерительный комплекс – Б. М. Ловягин. В этой экспедиции также участвовали В. И. Дудолодов, Л. Л. Кочкин, В. Е. Зотов и др. Аппаратурный комплекс размещался в фургоне “Праск” отделения 14 на двух специальных столах.

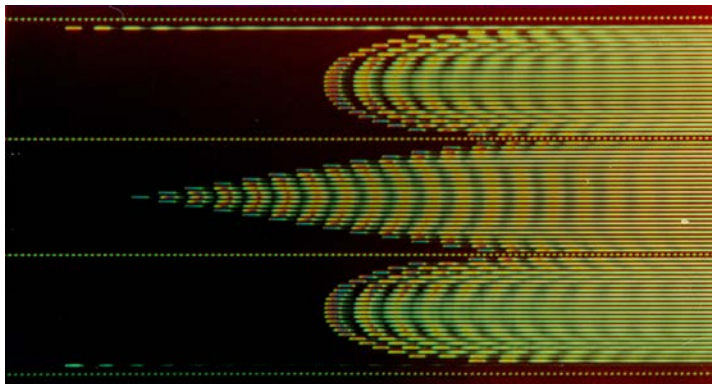


Лето 1996 года на Новой Земле.
Ф. М. Гудин, М. Ф. Мокшенков, Б. М. Ловягин

Приятной неожиданностью было увидеть на ППА архипелага Новая Земля плакат “для Ловягина Б. М.”, который аккуратно был подвязан к бухте из сотен маркированных кабелей, приготовленных П. Н. Загороднюком (ВНИИТФ) для нашей экспедиции. Забота эта была высоко оценена, однако до объекта испытаний на длину 650 м проложили свои, привезенные жгуты (всего 200 измерительных линий).

С появлением цветных фотоматериалов высокой чувствительности, Б. М. Ловягин, В. И. Дудолодов начали применять их и для регистрации быстротекущих процессов электрооптическим методом. В эксперименте, проведенном в 1996 году на цветной фотопленке Kodak-400, 75 электроконтактных датчиков с точно измеренными базами замыкались при детонации продукта П-84.

Благодаря цветному изображению, которое является наиболее наглядным и информативным, а также меткам времени, скорость детонации исследуемой партии продукта П-84 была измерена с высокой точностью.



75-канальная регистрация исследуемого процесса. Скорость развертки 3 км/с, 4 ряда меток времени с периодом 0,1 мкс

В 1996 году в совместном между РФЯЦ-ВНИИЭФ и LANL (США) эксперименте, электрооптическим методом измеряли скорость полета лайнера в сильном магнитном поле. Опыт проводили в августе 1996 года во ВНИИЭФ на полигоне 3/2. Международный проект возглавлял начальник отделения 38 В. К. Чернышев.



Участники международного эксперимента рядом с физустановкой для ускорения массивных лайнеров сильным магнитным полем

Использовалась уникальная физическая установка, обеспечивающая рекордные величины магнитных полей для ускорения массивных лайнеров. Благодаря высокой помехоустойчивости электрооптического метода и тщательно изготовленным датчикам удалось измерить скорость полета лайнера в силь-

ном магнитном поле. Эти результаты измерений были представлены специалистам LANL на следующий день после эксперимента.

Специалисты LANL также измеряли скорость лайнера, только другой его половины, используя новейшие цифровые приборы. Однако результатами своих измерений они так и не поделились со специалистами ВНИИЭФ, мотивируя необходимостью детальной обработки результатов, по всей вероятности, из-за наличия импульсных помех на полезных сигналах. Специалисты LANL проявили большой интерес к электрооптическому методу измерений и пожелали купить использованный в опыте комплект аппаратуры, но получили отказ с нашей стороны, что было вызвано отсутствием патента, без которого сделка не могла состояться.

В 2001 году Б. М. Ловягин провел патентный поиск и понял, что электрооптический способ измерения временных интервалов и в то время обладал новизной, и в соавторстве с А. А. Болотовым оформил заявку от РФЯЦ-ВНИИЭФ, а в 2003 году получил патент [8].

В конце 2004 года результаты совместного международного проекта были опубликованы на международной конференции и в престижном научном американском журнале.

Отличительной особенностью электрооптического способа измерения временных интервалов при использовании ГСИ-100 является аналоговый принцип регистрации информационных сигналов, что при высоком быстродействии практически безынерционных модуляторов Керра способствует снижению разброса сигналов во времени до величины порядка 0,02 мкс. Поэтому электрооптический метод более 30 лет сохраняет превосходство перед пороговыми многоканальными регистраторами (искровыми, цифровыми). До настоящего времени он используется в качестве эталонного для прецизионных измерений.

Очевидным ограничением электрооптической методики является механическая развертка фотокамер. Быстродействие ГСИ-100 весьма перспективно использовать с электронной разверткой, например, путем совмещения оптическими кабелями ГСИ-100 с многоканальным аппаратурным комплексом АКМ-03 разработки отдела 0303 ИФВ. Необходимо для этого изготовить и использовать оптический многоканальный переходник.

Полученные в 1999 году из НИИИТ многоканальные цифровые комплексы СЭ435 и СГ141А были протестированы электрооптическим методом в контрольных опытах. В них минимальный разброс по 192 каналам составил величину от 0,06 до 0,08 мкс, т. е. такой же, как в искровых установках 60-х годов.

За цифровым комплексом, конечно, будущее, если он хорошо отлажен. В это сложное дело огромный



Монтаж цифрового аппаратурного комплекса СЭ435 проводят Б. М. Ловягин, В. И. Дудолодов, В. В. Клементьев. 2000 год

вклад внес И. Н. Будников. Разработанная им программа автоматизированного сбора данных позволила через 15 мин после проведения эксперимента иметь экспресс-информацию об опыте.

С 1999 года аппаратурный комплекс СЭ435 начал использоваться для испытаний ГДМ и ГДМ-Н на ЦП РФ. Для этих измерений методика МСД аттестовалась ежегодно. Оператором комплекса был Д. А. Рыбальченко в паре с В. Е. Зотовым. Они регулярно участвовали во всех опытах на ЦП РФ.

При испытаниях ГДМ объем измерений резко возрастал, и в таких ответственных опытах участие опытных специалистов Б. М. Ловягина, И. Н. Будникова было вполне оправдано. Отработана технология подготовки СЭ435: в контрольных циклах 200 измерительных каналов проверялись одновременно с помощью имитатора измерительного приемника.

В 2002 году на базе комплекса СЭ435 разработана и аттестована сроком на 5 лет “Методика выполнения измерений временных параметров симметрии и динамики, АОД60-178”. Она используется при ГДО на внутренних полигонах ИФВ.

Рентгенографическая методика

В 1960 году группу прибористов в составе 26 отдела возглавил Е. З. Новицкий, выпускник МАИ. В эту группу входили В. И. Лучинин, В. А. Янов, Г. С. Степанов, А. И. Ислентьев, Г. И. Безруков и Е. А. Баландинский. Своей главной целью группа считала усовершенствование импульсной рентгеновской установки (ИРУ), которая размещалась на полигоне 2 в казематах 1 и 2.

Усилиями этой группы специалистов были разработаны пульт дистанционного управления ИРУ, устройство задержки времени (УЗВ), различные высоковольтные запускающие устройства (тригatronы) и даже измеритель времени с пределом 400 мкс (ИВ-400). Следует заметить, что УЗВ являлось дипломной работой молодого специалиста Е. З. Новицкого. Новизна этого устройства заключалась в том, что в нем времязадающими элементами являлись *LC*-контур, а не *RC*-цепочки, что обеспечивало высокую помехозащищенность устройства и стабильность в задержке запуска ГИНа относительно импульса подрыва изделия.

В качестве источника зарядки генератора импульсного напряжения (ГИНа) применили высоковольтный масляный трансформатор с выходным напряжением до 100 кВ и высоковольтный кенотрон.

Для повышения энергии γ -излучения увеличили число каскадов умножения у ГИНа и соответственно его энергию с 0,6 МэВ до 1,2 МэВ. В этом случае при срабатывании ГИНа наводкой по сети “выбивалась” вся аппаратура в каземате 2. Пришлось в срочном порядке рассчитывать, изготавливать сетевые фильтры. После установки в обоих казематах *LC*-фильтров удалось избавиться от наводок при срабатывании ГИНа.

Установили между казематами 2-стороннюю связь с релейной коммутацией соответствующих микрофонов и динамиков. Схема исключала возбуждение усилителей при любой громкости и управлялась всего лишь одной кнопкой на пульте управления. В исходном состоянии был включен микро-

фон в каземате 1 и динамик в каземате 2. По звуку контролировали включение и работу форвакуумных насосов, а также срабатывание ГИНа при его разряде на рентгеновскую трубку.

В 1963 году монтаж ИРУ на 2,4 МэВ был завершен. В период с 1961 по 1965 годы ответственным за аппаратуру в казематах 1 и 2 был В. И. Лучинин.

Главным претендентом на использование ИРУ-2,4 в отделе 26 оставалась лаборатория 1, а затем и 4. Ответственными за ИРУ-2,4 в разное время были В. И. Лучинин, К. А. Драгунов, Б. П. Дегтярев и др.

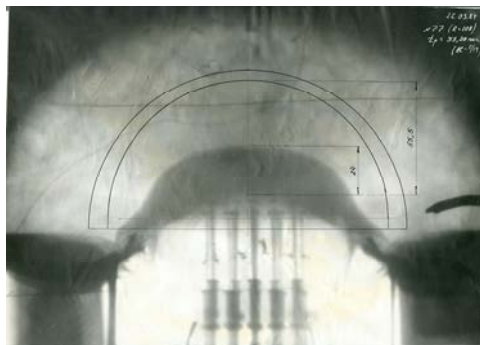
В 1988 году Б. М. Ловягин с сотрудниками провел модернизацию пульта управления и профилактику ИРУ-2,4 после 25 лет ее эксплуатации.

С целью экономии площади в каземате широкий пультровой стол был заменен вертикальной стойкой С-5 конструктива “Вишня”. В нее бережно перенесли УЗВ, а его выход соединили с новым 5-электродным разрядником и убедились в стабильности запуска ГИНа от нового разрядника. Остальные блоки были изготовлены вновь, с использованием современной элементной базы при сохранении функциональных возможностей ИРУ-2,4 и диагностики вакуума в трубке. В стойке разместили также дополнительные блоки задержки, пульт дистанционного управления ВУ-19, пульт управления фотокамерами “Экстра СФР-7к” и громкоговорящую связь с полем. Измеритель времени ИВ-200 заменили осциллографом типа С9-8.

Применение ИРУ-2,4 для исследования быстропротекающих процессов при взрывных испытаниях было оправдано высокой информативностью получаемых снимков, и в этом смысле рентгенографическая методика сочеталась с электрооптической методикой, дополняя ее при необходимости.



Сборка для проведения рентгеновского опыта с контактными датчиками



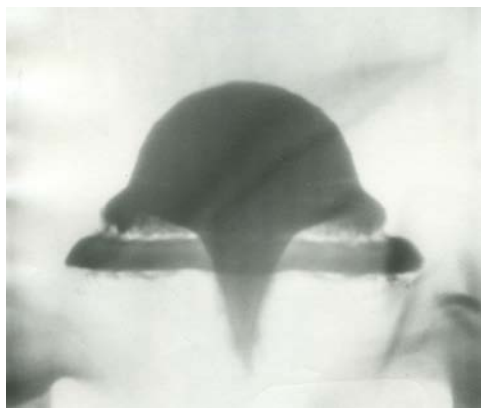
Рентгенограмма исследуемого процесса схождения оболочки

Как правило, при проведении рентгеновского опыта в исследуемом макете устанавливались контактные датчики. По ним измерялась одновременность подлета оболочки к определенной поверхности электрооптическим методом, и таким образом оценивалась асимметрия подлета исследуемой поверхности на момент рентгенографирования.

С июня 1989 года, после образования сектора 0309/5, ИРУ-2,4 стала эксплуатироваться специалистами этого сектора. Они возложили на себя ответ-

ственность за качество рентгенографических опытов, поэтому начали активно совершенствовать рентгенографический комплекс.

Первым делом заменили кенотрон высоковольтными диодами. Огромный вклад в модернизацию ИРУ-2,4 внес Б. И. Евсеев. Имея большой опыт работы с рентгеновскими установками, он смело вошел в помещение 2/1, где был установлен ГИН с рентгеновской трубкой, и с безопасного расстояния, в темноте, при закрытых дверях каземата, наблюдал за нештатным срабатыванием ГИНа (рентгеновская трубка при этом была закорочена и не выдавала γ -излучения). Разряд ГИНа сопровождался ужасным треском со световым излучением, которые возникали в наиболее неблагоприятных местах и всегда неожиданно для наблюдателя. Эту жуткую картину не для слабонервных испытал и Б. М. Ловягин. Определив слабые места ГИНа, им удалось повысить изоляционные свойства ГИНа за счет его переборки и увеличения гарантированных зазоров. Вот такая была у приборов экспериментальная физика с



Рентгенограмма опыта со сформировавшейся кумулятивной струей

электроникой, благодаря которой надежность работы ИРУ-2,4 значительно выросла, и она меньше стала реагировать на погодные условия. Следует заметить, что УЗВ дипломника Е. З. Новицкого до сих пор еще эксплуатируется уже более 40 лет.

После ухода на пенсию Б. И. Евсеева ответственным за установку стал М. Г. Левкин, и он много лет работал в паре с С. Н. Еричевым. Надежной “фотодамой” в течение 16 лет была А. И. Боровкова. От нее экспериментаторы с нетерпением ждали результатов опыта на проявленной фотопленке. В зависимости от постановки эксперимента, энергию γ -излучения подбирали изменением количества емкостей в ГИНе, зарядного напряжения и толщины защитного экрана.

Высокое качество получаемых изображений иллюстрирует рентгенограмма, на которой хорошо видна сформировавшаяся кумулятивная струя.

Методика непрерывной регистрации положения, профиля и скорости движущейся поверхности

Первые попытки использования проволочных датчиков для непрерывной регистрации асимметрии схождения оболочек относятся к 1953–1955 годам, когда А. Г. Проскуриным (отд. 25) были проведены первые эксперименты в направлении регистрации $X(t)$ -диаграммы движения оболочек. В начале 60-х годов были предприняты новые шаги в разработке метода непрерывной регистрации и не только $X(t)$ -диаграммы, но и асимметрии во времени, т. е. $\Delta X(t)$.

В 1965 году в дипломной работе Г. С. Степанова была показана принципиальная возможность осуществления непрерывной регистрации линейной

асимметрии (т. е. рельефа) сходящихся оболочек и предложен один из вариантов мостовой схемы, позволяющий осуществить эту регистрацию.

В период 1966–1973 годов по инициативе А. Г. Иванова и В. Д. Макарова при самом активном участии техника В. А. Ворсина были проведены серии взрывных экспериментов по дальнейшему развитию метода непрерывной регистрации. В этих экспериментах регистрировались как геометрический рельеф поверхности, движущейся под действием продуктов взрыва со скоростью более 1 км/с, так и изменение этого рельефа во времени. Подробно об этом методе В. Д. Макаров докладывал на 1-й Газодинамической конференции в 1972 году, а результаты исследований с применением этого метода приведены в его диссертации.

Из-за недостаточной конструктивной проработки проволочных датчиков, их установка в измерительный узел требовала виртуозного исполнения, и поэтому метод не нашел тогда широкого применения.

В то время во ВНИИТФ развивался квазинепрерывный метод регистрации $X(t)$ -диаграмм, в котором с помощью спиральных датчиков с точно известной базой измерялись временные интервалы.

Работа по развитию непрерывной регистрации $X(t)$ -диаграмм была продолжена на новом уровне в лаборатории Е. З. Новицкого с участием прибористов из группы А. А. Болотова.

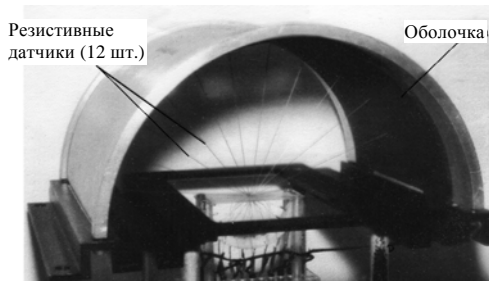
В мае 1979 года, после проведения серии плоских опытов, проволочные датчики из нихрома были использованы для регистрации движения стальной полусферической оболочки. В этом опыте использовались как гладкие, так и петлевые датчики с известными расстояниями между петельками. Прикреплялись они к ВГО с помощью липкой пленки и благодаря усердию В. И. Перебатова.

В этом и последующих опытах применялись различные схемы включения этих датчиков, а в качестве регистраторов использовались генератор ГСИ-100 и осциллограф С9-4. О результатах измерений исполнители доложили на 6-й Газодинамической конференции и подробно в отчетах.

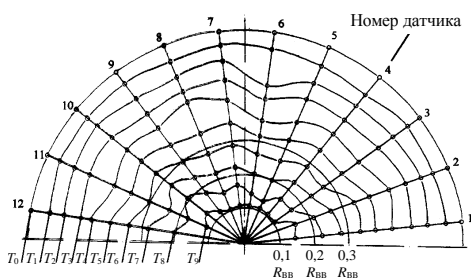
По сравнению с осциллографическим методом, временные интервалы электрооптическим методом измерялись с большей точностью, что нельзя было утверждать об амплитуде сигнала. Поиски оптимальной конструкции датчика [9], схемы его включения, а также регистратора, продолжались при активном участии Б. М. Ловягина и В. А. Морозова.

По предложению В. А. Морозова и В. И. Дудоладова в конструкцию резистивного датчика была введена тонкая экранирующая металлическая трубочка, благодаря которой датчик предохранялся от воздействия на него воздушной ударной волны, что в значительной степени повысило помехоустойчивость и надежность работы датчика. Такой датчик, при своей миниатюрности (внешний диаметр 0,3 мм, длина до 100 мм), отличался достаточной механической жесткостью, что позволяло ориентировать его под любым углом к исследуемой поверхности.

Одновременное использование нескольких резистивных датчиков в одном эксперименте с полуцилиндрическим макетом позволило получить рельеф (асимметрию) движущейся поверхности на любой интересующий момент времени, а также оценить разнородность движения различных ее участков.



Полуцилиндрический макет с установленными резистивными датчиками



Динамические $X(t)$ -диаграммы сходящихся участков цилиндра

Об уникальных возможностях резистивного метода непрерывной регистрации докладывалось на международной конференции “ФИЗМЕТ-96” [10], 16-й Газодинамической и отраслевой, посвященной 40-летию НИИИТ [11], конференциях.

На способ непрерывной регистрации положения, профиля и скорости движущейся поверхности авторы А. Г. Иванов, В. Д. Макаров, Б. М. Ловягин и В. И. Дудолодов получили патент с приоритетом от 04.08.2003 [12]. Изобретение относится к измерительной технике и может использоваться для исследования однократных быстропротекающих процессов (быстрое горение, взрыв, высокоскоростное взаимодействие материалов, распространение ударных волн и т. п.), позволяет регистрировать одновременно положение, профиль и скорость движущейся твердой поверхности в диапазоне высокоскоростного взаимодействия с резистивными датчиками коаксиальной конструкции от 0,8 до 8 км/с.

В соответствии с рекомендацией МЭК в 2002 году этим методом на ЦП РФ измерялась скорость движения корпуса ГДМ на начальной стадии его разрушения. В настоящее время разработаны КД на резистивный датчик А0311-П172.000 и методика выполнения измерений положения, профиля и скорости движущейся поверхности, АОД60.393, которая аттестована в 2004 году, т. е. через 50 лет после рождения красивой идеи. Используя информационные сигналы с измерительных трактов и калибровочные зависимости, методика позволяет построить графики перемещения отдельных движущихся частей исследуемой поверхности. По графикам перемещения определяются скорости отдельных частей движущейся поверхности в любой фиксированный момент времени регистрации, а также положение и ее профиль в целом.

Абсолютная погрешность этого метода составляет $\pm 0,5$ мм при доверительной вероятности 0,95.

Литература

1. Ловягин Б. М., Болотов А. А. Расширение диапазона скоростей разветки сверхскоростного фоторегистратора // ЖНиПФиК. 1975. № 6. С. 433–435.
2. Болотов А. А., Ловягин Б. М., Ильин Н. В. Датчик времени ДВ-2 к фоторегистратору СФР-2м // ЖНиПФиК, 1977. № 6. С. 415–419.

3. А.с. 1090229. Генератор пилообразного напряжения / А. А. Ростовцев, В. С. Горкунов, Б. М. Ловягин // Открытия. Изобретения. 1982.
4. А.с 112437. Реле времени / В. С. Горкунов, Б. М. Ловягин // Открытия. Изобретения. 1984.
5. Пат. 2227928. Способ совмещенной фоторегистрации двумя скоростными фотокамерами / А. А. Болотов, Б. М. Ловягин, В. П. Кислинский // Изобретения. Полезные модели. 2001.
6. Пат. 2224276. Лазерный способ оптической градуировки развертки скоростного фоторегистратора / Б. М. Ловягин, Л. Л. Кочкин, Ю. Н. Аксенов // Изобретения. Полезные модели. 2001.
7. Болотов А. А., Ловягин Б. М., Манулов Н. А., Саккеус И. К. 50-канальный генератор световых импульсов // ПТЭ. 1975. № 3. С. 198–200.
8. Пат. 2216778 РФ G06 K15/12, G04 F13/02. Электрооптический способ измерения временных интервалов / Б. М. Ловягин, А. А. Болотов // Изобретения. Полезные модели, 2003. № 32.
9. А.с. 1134879 СССР. Устройство для контроля параметров движения поверхности при ударных волнах / В. А. Морозов, Б. М. Ловягин, А. А. Болотов // Открытия. Изобретения. 1987.
10. Иванов А. Г., Ловягин Б. М., Дудоладов В. И. Резистивный метод для непрерывной регистрации скорости движущейся поверхности // Тезисы докладов конференции “ФИЗМЕТ-96”. г. С-Петербург. 1996.
11. Иванов А. Г., Ловягин Б. М., Дудоладов В. И. Непрерывная диагностика оболочки с помощью резистивного датчика // Тезисы докладов конференции “Методы и средства физических измерений. Москва, НИИИТ. 2001. 9 с.
12. Пат. 2227928 РФ МПК G03 B39/02. Способ непрерывной регистрации положения, профиля и скорости движущейся поверхности / А. Г. Иванов, В. Д. Макаров, Б. М. Ловягин, В. И. Дудоладов // Изобретения. Полезные модели. 2004. № 12.

В. Д. Садунов

Электрически активные материалы и взрывные пьезогенераторы

В 1962–1971 годах в отделе 26 (0309) проводились исследования электрических эффектов, наблюдаемых при ударно-волновом нагружении (УВ-нагружении) линейных диэлектриков. Переход к исследованию электрических эффектов при УВ-нагружении нелинейных сегнетоэлектрических материалов (пьезокерамик) был связан с проблемами, возникшими в отделении 19 при разработке взрывных пьезогенераторов (ВПГ). Здесь, в отделе Г. И. Крашенинникова, были разработаны первые действующие конструкции ВПГ, которые предполагалось использовать в составе взрывных блоков автоматики специзделий. Однако оказалось, что разработанные ВПГ имели существенные недостатки, связанные с низкой стабильностью и эффективностью их работы. Эти недостатки делали их практически непригодными для использования при разработке блоков автоматики специзделий. По мнению разработчиков, при-

чина отмеченных недостатков разработанных конструкций ВПГ была связана с неправильным пониманием физической природы процессов, протекающих при УВ-нагрузении пьезокерамики. Это побудило Г. И. Крашенинникова обратиться в 1968 году к А. Г. Иванову с просьбой о помощи в проведении исследований процессов, протекающих в пьезокерамике применительно к задаче разработки эффективных и надежных конструкций взрывных пьезогенераторов.

Непосредственными исполнителями в решении поставленной задачи стала группа специалистов отдела, возглавляемая Е. З. Новицким, для которых проведение указанных исследований стало естественным продолжением исследований электрической активности ударно-сжимаемых диэлектриков, проводившихся в отделе под руководством профессора Иванова А. Г.

Для решения поставленной задачи начиная с 1968 года были установлены связи с ведущими разработчиками пьезоактивных материалов и начаты непосредственные исследования физической природы явлений, протекающих при их УВ-нагрузении. С 1971 года, после отъезда Г. И. Крашенинникова в НИИА, практически все исследования по этой проблеме перемещаются во вновь созданную лабораторию Е. З. Новицкого.

Мое активное участие в проводимых исследованиях относится к 1972 году, когда я перешел в лабораторию. В 1974 году мы в соавторстве с Новицким Е. З. обосновали преимущества поперечного способа (поперечной моды) нагружения пьезокерамики – рабочего тела ВПГ. В дальнейшем разработана расчетная модель электрической реакции пьезокерамики на УВ-нагружение, пригодная для практического применения при расчете ВПГ. Были также теоретически и экспериментально исследованы недостатки аксиального способа (аксиальной моды) ударного нагружения пьезокерамики – основной причины нестабильности и низкой эффективности работы первых конструкций ВПГ. Развита модель и выполненные на ее основе исследования электрофизических характеристик ряда пьезокерамик, в свою очередь, позволили перейти к разработке эффективных и надежных конструкций взрывных пьезогенераторов различного назначения и, в частности, к разработке ВПГ для синхронного подрыва высоковольтных безопасных ЭД, не содержащих в своем составе первичных взрывчатых веществ. При этом следует отметить, что полученные нами результаты и наши первые публикации были пионерскими по отношению к аналогичным публикациям зарубежных авторов.

В 1977 году Ю. Б. Харитон с учетом достигнутых нами результатов утвердил техническое задание (ТЗ) на выполнение следующего этапа НИР с названием “Пьезо-, пиро-, сегнетоэлектрические преобразователи энергии”. В ходе работ по новому ТЗ с помощью разработанной ранее модели были решены следующие вопросы:

- исследовано распределение электрических полей в объеме пьезокерамики при ее аксиальном и поперечном способе нагружения;
- исследован механизм преобразования энергии УВ в электрическую энергию;
- разработаны критерии эффективности применения пьезокерамики в качестве рабочего тела ВПГ;

- измерены электрофизические характеристики ряда пьезокерамик при УВ-нагрузении и в сильных быстро нарастающих электрических полях;
- разработаны ВПГ для синхронного подрыва ЭД и других технических применений;
- разработана технология изготовления твердотельных электрических блоков ВПГ, методы контроля качества и обеспечения надежности взрывных пьезогенераторов.

По указанию Ю. Б. Харитона одна из конструкций ВПГ и соответствующий ей научный задел были переданы в 1981–1982 годах во ВНИИА, что послужило там становлению нового научно-технического направления работ.

В 1984–1985 годах под руководством С. Г. Кочарянца при участии нескольких подразделений института было также разработано и апробировано техническое предложение, в котором всю систему автоматики современных специзделий предлагалось построить на основе взрывных пьезогенераторов.

В 1985–1991 годах проводятся разработки взрывных пьезогенераторов с целью их применения в изделиях Министерства машиностроения. В результате выполнения этих работ были созданы и успешно испытаны на полигонах системы синхронного инициирования для изделий НИИМаш (г. Дзержинск), а затем для других организаций Коломны, Куйбышева и Калининграда Московской области.

Результаты выполненных исследований и разработок были представлены на семинарах и секциях НТС ВНИИЭФ, в 5 ГУ, ВНИИА, ВНИИТФ на внутренних и международных конференциях, публиковались в открытой печати. В дальнейшем эти результаты были использованы в моей кандидатской диссертации “Физические основы построения взрывных пьезогенераторов” (1983 год) и в докторской диссертации Е. З. Новицкого “Физические основы построения преобразователей энергии одноразового использования на основе пьезо-, пиро-, сегнетоэлектриков” (1985 год).

Успех работ по созданию эффективных и надежных конструкций ВПГ был в значительной степени обеспечен за счет применения при разработке и изготовлении электрических блоков ВПГ высоконаполненного эпоксидного компаунда ЭК-20М. Замена жидкой изоляции в конструкции электрических блоков ВПГ позволила отказаться от применения герметичных корпусов, компенсаторов температурного расширения жидкого диэлектрика, герметичных высоковольтных выводов, сложных методов крепления элементов в объеме электрического блока. Применение компаунда ЭК-20М позволило существенным образом упростить технологию изготовления, сократить сроки и стоимость разработки новых конструкций ВПГ. По результатам разработки, исследования электрофизических характеристик и применения компаунда в конструкциях твердотельных электрических блоков ВПГ, стойких к действию эксплуатационных нагрузок, к условиям складского и полевого хранения, в 1989 году Т. В. Трищенко была защищена кандидатская диссертация “Разработка твердотельных электрических блоков взрывных пьезогенераторов специального назначения”. Разработка компаунда ЭК-20М была осуществлена совместно с сотрудниками отделения 07 и защищена патентом РФ. Авторами патента со стороны лаборатории 0309/3 являлись Е. З. Новицкий,

В. Д. Садунов, Т. В. Трищенко и Р. В. Кушникова, Е. Ф. Кременчугская, В. М. Мельниченко – со стороны отделения 07. В общей сложности по тематике, связанной с разработкой ВПГ и пьезокерамических измерительных датчиков, сотрудниками лаборатории было сделано более 25 изобретений, защищенных авторскими свидетельствами и патентами.

Следует также отметить выполненную в лаборатории научно-исследовательскую работу по исследованию сегнетоэлектрических переключающих устройств, практическое применение которых в конструкциях ВПГ позволило существенно расширить их функциональные возможности. Результаты исследований по этому направлению были использованы сотрудником нашей лаборатории И. Г. Толстиковым при написании кандидатской диссертации “Сегнетоэлектрические переключающие устройства для взрывных пьезогенераторов”.

Другой важной задачей, решение которой было абсолютно необходимо для обеспечения возможности создания надежных конструкций ВПГ со стабильными выходными характеристиками, стала разработка метода неразрушающего контроля критических параметров ВПГ. Контроль критических параметров ВПГ – устройства однократного действия, разрушающегося после своего применения позволял, в рамках разработанной для ВПГ модели надежности, оценивать качество изготовления ВПГ и производить оценку надежности их работы. К критическим параметрам в модели надежности ВПГ были отнесены остаточная поляризация P_r и электрическая прочность $E_{пр}$ пьезокерамики.

Для осуществления неразрушающего контроля критических параметров ВПГ С. М. Батьяновым (сотрудником отдельной лаборатории 0303 ИФВ) была разработана установка “АСНИ-Пьезо”. При этом для обоснования возможности практического использования установки “АСНИ-Пьезо” С. М. Батьяновым и сотрудниками нашей лаборатории была выполнена большая исследовательская работа, результаты которой подтвердили соответствие характеристик и возможностей установки заявленным перед началом ее разработки целям. К большому сожалению, материалы и результаты этой работы не были использованы С. М. Батьяновым для написания кандидатской диссертации, как это первоначально планировалось.

Разработкой метода неразрушающего контроля критических параметров ВПГ был фактически завершен исследовательский этап, направленный на решение задачи по созданию эффективных и надежных конструкций ВПГ. На следующем этапе предполагалось осуществить на основе ВПГ целый ряд разработок для специальных и обычных вооружений.

К сожалению, в конце 80-х годов произошло резкое сокращение финансирования военных заказов как по тематике ВНИИЭФ, так и по тематике обычных вооружений. В результате этого успешно начатые и намеченные к разработке проекты с применением ВПГ перестали поддерживаться, и работы по ним были практически остановлены. Кризис в лаборатории обострился после ухода из нее сначала Е. З. Новицкого на должность начальника отделения 06, а затем группы сотрудников во главе с В. А. Борисенком в организованный Е. З. Новицким отдел.

Следует особо отметить в этой непростой ситуации неоценимый вклад в сохранение жизнеспособности лаборатории ее ведущих сотрудников и ветеранов: Т. В. Трищенко, А. В. Блинова, М. В. Коротченко, З. М. Пучковой, Н. А. Филипповой, В. Н. Коннова, – каждый из которых упорно работал, утверждая право лаборатории на дальнейшее существование.

В эти трудные времена лаборатория своим дальнейшим существованием в значительной степени обязана поддержке, оказанной ей руководством отдела и института, и особенно поддержке директора ИФВ А. Л. Михайлова, который помог лаборатории обрести новыми кадрами, способствовал поиску и решению новых научно-технических задач.

После 1992 года основным направлением лаборатории стали исследования и разработки, связанные преимущественно с выполняемыми во ВНИИЭФ работами в области обычных вооружений, а также с технологиями гражданского назначения. В тот период было показано, что взрывные пьезогенераторы могут успешно применяться при разработке:

- импульсных источников электромагнитного излучения,
- источников низкочастотного и экспоненциально спадающего поля,
- источников начальной запитки взрывомагнитных генераторов и зарядного тока конденсаторных накопителей энергии,
- генераторов подрывного импульса для обычных боевых частей и систем группового подрыва в области гражданского производства.

В этот период были выполнены разработки:

- адаптивной системы электрического инициирования;
- системы пьезоэлектрического инициирования для кумулятивной БЧ;
- ВПГ для источника начальной запитки ВМГ;
- системы электрического инициирования, сохраняющей свою работоспособность в поле перегрузок;
- системы аварийной защиты (САЗ) окружающей среды от выбросов из производственных помещений радиоактивных и опасных в экологическом отношении веществ (САЗ обеспечивала перекрытие вентиляционных и технологических каналов аварийного помещения за ~1,5 мс);
- системы точного группового подрыва скважинных зарядов горнодобывающих карьеров;
- методики испытаний БЧ на стойкость к разрядам статического электричества.

Другим важным направлением работ в лаборатории стало направление, связанное с разработкой пьезокерамических датчиков, предназначенных для измерения временных и газодинамических параметров изделий в опытах на внутренних и внешних полигонах ВНИИЭФ. Были разработаны помехоустойчивые миниатюрные пьезодатчики, пригодные для установки в труднодоступных местах обрабатываемых изделий. На основе этих датчиков были разработаны и успешно применяются измерительные методики, имеющие важное прикладное значение в исследованиях, выполняемых по основной тематике института. Все методики были аттестованы и получили номера госрегистрации. Опыт эксплуатации этих методик показал их высокую информативность в условиях их практического применения.

Подводя итоги изложенной в этом очерке истории становления, развития и практических применений результатов выполненных в лаборатории исследований и разработок, хочу выразить благодарность тем людям, с кем я на разных этапах работы взаимодействовал и получал поддержку и неоценимую помощь: заместителю научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктору технических наук, профессору Тимонину Л. М.; директору ИФВ – заместителю главного конструктора РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктору технических наук Михайлову А. Л.; главному научному сотруднику, доктору технических наук, профессору Иванову А. Г.; заместителю директора ИФВ по ОКР, доктору технических наук Кондрахину В. С.; кандидату физико-математических наук, начальнику отдела 0309 Рождественскому Б. Ф.

Я глубоко признателен за участие в выполненных в лаборатории исследованиях и разработках настоящим и бывшим сотрудникам лаборатории: Коротченко М. В., Морозову В. А., Толстикovu И. Г., Филипповой Н. А., Дементьеву А. С., Обыденкову Г. П., Кручинину В. А., Коннову В. Н., Антипову М. В., Юртову И. В., Бугаевой Т. В., Савосину В. А., Кокореvu И. А.



Дементьев А. С., Морозов В. А., Подувальцев В. С., Обыденков Г. В., Дудолодав В. И., Садунов В. Д., Терехин В. В., Пучкова З. М., Филиппова Н. А., Трищенко Т. В.

Особую признательность я выражаю научному руководителю своей кандидатской диссертации, главному научному сотруднику, доктору физико-математических наук, профессору Новицкому Е. З.; старшему научному сотруднику, кандидату технических наук Трищенко Т. В. за многолетнее сотрудничество и совместные исследования; Блинову А. В. – организатору экспериментов и неизменному их участнику; Вишневецкому Е. Д. и Пучковой З. М., обеспечившим выпуск конструкторской документации и изготовление практически всех разработанных в лаборатории образцов взрывных пьезогенера-

торов и пьезокерамических датчиков; Батьянову С. М. за разработку установки “АСНИ-Пьезо” и совместные исследования возможных ее практических применений, сотрудникам отделения 07: Соснину Г. А., Безлепкиной Г. Г., Киселевой Н. Н., Безнасюк О. М., Матвеевой И. С, Кушниковой Р. В., Кременчугской Э. Ф. – за своевременное и качественное выполнение работ по изготовлению необходимых для разработки взрывных пьезогенераторов, пьезоэлементов и пьезодатчиков, разработку нового заливочного компаунда ЭК-20М, разработку и внедрение в практику технологии изготовления твердотельных электрических блоков ВПГ.



Афанасьев А. И., Дементьев А. С., Коротченко М. В., Коннов В. Н.,
Воронцов В. А., Садунов В. Д., Трищенко Т. В., Филиппова Н. А.

Я благодарю за поддержку и участие в разработке действующих образцов взрывных пьезогенераторов Лобанова В. Н., Афанасьева В. А., Селемира В. Д., Демидова В. А., Климова С. А., Телегина А. Е., Анохина Н. Д., Воронцову О. С., Поздеева Ю. М., Мукашева А. А., Зубанова А. В., Рудько М. Л., Свирского О. В., Синицына В. А., Смирнова Г. С., Ловягина Б. М.

А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский

Вхождение в космос

Информация о предстоящей международной конференции в НИИ-1011 (Снежинск), посвященной проблеме защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами (“SPE – 94”), полученная в конце 1993 года заинтересовала нас. Нам было известно, что малые, 0,5–500 м, космические тела (МКТ), влетающие в атмосферу Земли, имеют низкую температуру,

~ 100 К (-170 °С). Большинство этих тел являются хрупкими, а при такой температуре и пластичные материалы, например, железо, тоже будут в состоянии хрупкости. Так как процесс их внедрения занимает малые интервалы времени, ~ 1 – 10 с, то изменением их температуры, вследствие теплопроводности и абляции, можно пренебречь.

Из-за отсутствия информации о форме влетающих МКТ, при расчетах принято рассматривать их в форме шара. Так, в работе Ю. И. Фадеенко [1] рассмотрено обтекание такого тела в процессе его внедрения в атмосферу Земли и показано, что в точке, противоположной максимально нагруженной, образуется область растягивающих напряжений, откуда, согласно [2], как правило, и стартует хрупкая трещина разрушения. Таким образом, возникает ситуация, которая реализуется при хрупком разрушении геометрически подобных (ГП) сфероидных сосудов [3], у которых разрушение также стартует из одной и той же области, где достигается максимум растягивающих напряжений, – от области горловины. При постепенном подходе к этому максимуму с увеличением заряда ВВ наступает разрушение разделением сосуда на две равные части. И разрушение ГП сосудов, нагруженных одинаковым образом, сопровождается так называемыми масштабными эффектами: чем меньше сосуд, тем он оказывается прочнее согласно формуле

$$\sigma^2 D = \text{const}, \quad (1)$$

где σ и D – соответственно, характерные напряжение разрушения и диаметр сосуда. Это масштабные эффекты энергетической природы, рассмотренные в [3]. Суть их состоит в том, что согласно современной механике разрушения, основанной на пионерской работе Гриффитса, разрушение есть акт совершения работы по разделению целого объекта на части. При хрупком разрушении эта работа совершается за счет упругой энергии деформации. В случае ГП тел, нагруженных одинаковым образом и содержащих ГП дефекты зарождения хрупкой трещины, затраты энергии на ее прохождение пропорциональны D^2 , а запас упругой энергии объекта возрастает пропорционально D^3 . Этот факт приводит к уравнению (1) (МЭЭП).

К сожалению, как при использовании критериев разрушения курса сопротивления материалов (СМ), так и в современной механике разрушения (МР) определяющая роль отводится МЭ статистической природы. Однако роль последней пренебрежимо мала [4]. Определяющую роль выполнят МЭЭП (1).

Установим аналогию разрушения сосудов с внедрением МКТ в атмосферу. Будем считать форму МКТ сферами из хрупкого, достаточно однородного материала. Плотность ρ атмосферы растет с уменьшением расстояния Z до

Земли, как $\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{Z}{H}\right)$, где ρ_0 – плотность воздуха при $Z = 0$ и H – ха-

рактерная толщина стандартной атмосферы (~ 8 км). Таким образом, по мере вхождения в более плотные слои атмосферы сила сопротивления МКТ будет расти как : $\rho U^2 S$: σS и на некотором этапе достигнет максимума за счет

роста ρ и падения U вследствие торможения МКТ в атмосфере (U и S – соответственно, скорость и поверхность лобового сопротивления $S : D^2$ влетающего МКТ).

Если значение силы сопротивления на некоторой высоте достигнет критической величины, то по сфере пробежит хрупкая трещина. Образуются два полусферических фрагмента. Рассматривая вновь форму фрагментов в виде сфер диаметрами D_1 , где D_1 легко определяется из равенства объемов начального D_0 и образовавшихся при разрушении, имеем $D_0^3 = 2D_1^3$.

Согласно уравнению (1), образовавшиеся фрагменты D_1 будут более прочными и по мере их дальнейшего торможения вновь разрушатся хрупкой трещиной пополам. Таким образом, процесс фрагментации будет продолжаться, пока сила торможения на некотором K -м этапе не подойдет к максимуму. Фрагментация завершится.

Так как на каждом этапе число фрагментов удваивается, то к концу фрагментации образуется N фрагментов ($N = 2^K$) размером $D_K = D_0 / 2^{\frac{K}{3}}$.

Большая площадь суммарной поверхности 2^K фрагментов, в сравнении с исходной поверхностью S родительского МКТ, приведет к резкому торможению их, что эквивалентно быстрой перекачке кинетической энергии МКТ в ударную волну – эффект, аналогичный взрыву.

Таким образом, использование современной МР для описания взаимодействия МКТ с атмосферой Земли, впервые показало, что процесс внедрения разбивается актами разрушения на ряд этапов, количество которых и протяженность по времени зависят от характеристик внедряющегося МКТ.

Большинство работ, посвященных описанию этого явления, до последних лет использовало критерии разрушения СМ, из которых следовало, что при достижении напряжения разрушения МКТ за время порядка D/C , где C – скорость звука в материале МКТ, оно разрушается одноразово на мелкие фрагменты, как бы взрывается. Почему в этой области знаний игнорировались достижения современной МР? По-видимому, главной причиной неиспользования современной МР являлось отсутствие информации о дефектности МКТ. А “прочность конструкции всегда представляет собой некоторую случайную величину, так как, во-первых, точное расположение всех дефектов заранее неизвестно, а во-вторых, если бы это расположение и было точно известно, решение соответствующей математической задачи было бы невозможно из-за ее сложности” [5]. Вот так!

Авторы работы [6] для преодоления этой трудности, оставаясь на позициях современной МР, предложили “интегральный подход”. При рассмотрении ГП тел, нагруженных одинаковым образом, в качестве ведущего дефекта, который инициирует хрупкое разрушение, выступает характерная особенность рассматриваемых объектов, область растяжения. При таком рассмотрении в явном виде доказывается существование физически обоснованных МЭЭП.

Впервые найденное решение вхождения Тунгусского МКТ с позиций современной МР было представлено на конференции SPE-94 в Снежинске. Там же было высказано предположение и сделана оценка природы образования цепочки 20–25 небесных тел, растянувшихся на миллионы километров и несущихся к Юпитеру. Мы предположили, что это результат предыдущего прохождения спутника Юпитера с сильно вытянутой орбитой через верхние слои его атмосферы и фрагментации там. Этому явлению было присвоено имя ШЛ-9 по фамилиям его первооткрывателей (1993 год) Шумейкеров и Леви.

Материалы нашего первого доклада были опубликованы в статьях [7] и [8]. Для завоевания “места под Солнцем” в этой области требовалось, помимо решенной задачи о фрагментации МКТ при движении его к поверхности планеты, найти решение других задач: о фрагментации МКТ при его “транзитном” пролете через верхние слои атмосферы планеты, рассмотреть процесс фрагментации МКТ другой формы, оценить степень влияния формы МКТ на конечные результаты. Следующим и более трудным для нас направлением исследований явилось решение задачи о разлете образующихся после каждого этапа фрагментации объектов и определения первичного кратерного поля фрагментов при их соударении с поверхностью планеты [9] и т. п. Таким образом, по данному новому для нас направлению исследований авторы выступили с докладами на пяти международных конференциях и опубликовали работы в Докладах РАН, *Астрономическом вестнике*, журналах *ФГВ* и *ПМТФ*. В настоящее время в серии “Труды ученых ядерных центров России” готовится книга по этому вопросу.

Литература

1. Фадеев Ю. И. Разрушение метеорных тел в атмосфере // *Физика горения и взрыва*. 1967. Т. 3, № 2. С. 276.
2. Авербах Б. Л. Некоторые физические аспекты разрушения // М.: Мир, 1973. Т. 1. С. 471.
3. Иванов А. Г., Сеницын В. А., Новиков С. А. Масштабные эффекты при динамическом разрушении конструкций // *ДАН СССР*. 1970. Т. 194, № 2. С. 316.
4. Разрушение разномасштабных объектов при взрыве / Под ред. Иванова А. Г. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2001.
5. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.
6. Иванов А. Г. Схема построения единой теории разрушения // *ДАН СССР*, 1990. Т. 310, № 4. С. 866.
7. Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Возможная природа взрыва Тунгусского метеорита и распада кометы ШЛ-9 // *ФГВ*. 1995. Т. 31, № 6. С. 117.
8. Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Фрагментация малого небесного тела при его взаимодействии с атмосферой планеты // *ДАН*. 1997. Т. 353, № 3, С. 334–337.
9. Иванов А. Г., Рыжанский В. А. Модель рассеяния фрагментов малого космического тела в атмосфере планеты // Там же. 2004. Т. 398, № 6. С. 759–763.

Е. В. Савинов, О. В. Свирский

Загадка, разгаданная дважды

Исторически отдел 09 занимался ГДО изделий на натуральных блоках с использованием оптической (фотохронографической) методики. Исследовались, в основном, процессы симметрии схождения оболочек и ударных волн, а также их влияние на конструктивные элементы. Первые натурные блоки имели внушительные размеры и большую массу ВВ. Поэтому испытательные площадки для безопасности были построены в дали (~10 км) от города и завода. Казалось бы, вредного воздействия опытных взрывов удалось избежать. В дальнейшем стали разрабатывать малогабаритные заряды. Мощность экспериментальных взрывов снизилась, поэтому появилась большая уверенность в их безопасности. В городе появились многоэтажные дома.

В конце 1974 года в отделе 09 появилась новая лаборатория (руководитель – Васильев Л. В.) с новой тематикой, связанной с подрывом больших зарядов ВВ (300 кг). В течение 1975–1978 годов было проведено более 20 зачетных опытов с ВВ больших масс. В пяти случаях (из 22) было отмечено разрушение остекления окон в административном здании (здание НИКа, построенное в 70-е годы), расположенном в нескольких километрах от места подрыва. Периодическая “повторяемость” подобного побочного результата показывала, что он не является случайным и связан, скорее всего, с влиянием на распространение воздушной ударной волны метеорологических условий в момент проведения опыта. Статистика загадочного эффекта показывала, что он появляется в разное время года и не зависит напрямую от направления ветра, температуры и атмосферного давления. Казалось, что мы столкнулись с чем-то принципиально новым и интересным. Оказалось, однако, что это повторение пройденного.

Экспериментаторы 70-х не знали, что еще в 1956 году неожиданное разрушение стекол от взрыва опытной сборки на площадке 2 произошло в кабинете самого Ю. Б. Харитона, в здании 30 (сейчас Технологическое отделение 07), во время производственного совещания. Участником этого совещания был молодой специалист отдела ученого секретаря Сергей Михайлович Бабадей, ставший к середине 70-х годов заместителем начальника сектора 3 по науке. Поскольку нахальное природное явление ворвалось тогда прямо в кабинет научного руководителя “объекта”, то оно, естественно, было тут же “поймано”, всесторонне исследовано и объяснено. Однако за 20 лет об этом объяснении успели прочно забыть, и расследование причин снова началось с “нуля”.

Все дело оказалось в так называемой температурной инверсии атмосферы, когда более теплый слой воздуха оказывается выше холодного приземного слоя воздуха. В этих условиях фронт ударной волны от взрыва искривляется и, вследствие этого, может, не повреждая близких строений, сфокусироваться на отдаленных объектах и повредить их. Впервые исследования распространения фронта ударной волны в атмосфере были проведены в 1953 году американцами Куком и Коксом. Они показали, что интенсивность фронта ударной

волны на больших расстояниях от места взрыва определяется распределением температуры и скорости движения атмосферы (ветра) по высоте и практически не зависит от влажности воздуха, атмосферного давления, облачности неба. В реальной атмосфере температура изменяется с высотой, следовательно, изменяется и скорость звука C по закону $C \approx 20\sqrt{T}$ (где T – температура в Кельвинах, C – скорость звука в м/с). Изменения скорости ветра с высотой совместно с температурными вариациями скорости звука и определяют итоговую скорость распространения волн $V = C + U \cos \Theta$ (U – скорость ветра, Θ – угол между направлением ветра и выбранным направлением, в котором изменяется скорость звука).

Сотрудник нашей лаборатории Сальников А. Г. на самолете АН-2 провел измерения температуры воздуха на высотах вплоть до 2,5 км в день проведения опыта (за 2 часа до подрыва). Его измерения 11.03.77 показали наличие температурной инверсии. В этот день от подрыва заряда ВВ массой 300 кг в здании, расположенном на расстоянии 2 км от места подрыва, вновь было разбито 20 оконных стекол.

Так была дважды разгадана (еще раз подтверждена) причина нестабильности разрушения застекленных поверхностей, что позволило вычислить благоприятные условия подрыва больших зарядов взрывчатых веществ и избежать возможного травматизма людей. Наиболее благоприятным временем проведения больших взрывов было рекомендовано послеполуденное время, когда земля прогреется солнцем.

На этом наша история закончилась, но, как знать, не повторится ли она вновь? Будем считать, что этот очерк написан для новых экспериментаторов, которым когда-нибудь снова понадобится произвести “большой взрыв”.

О. В. Свирский

Высокоскоростное метание ударников (проект “Большая Берта”)

Лаборатория 4 была организована в составе нашего отдела 17 декабря 1974 года для изучения процесса соударения головных частей с преградами. Пионерами нового направления были четверо: Васильев Леонид Владимирович, назначенный начальником лаборатории; Кустов Виктор Сергеевич, к тому времени уже заслуженный ветеран отдела, участник многих работ по основной тематике; Савинов Евгений Васильевич, высококвалифицированный специалист по фоторегистрации; техник-испытатель (взрывник) Савельев Иван Прокопьевич. В следующем 1975 году лаборатория численно подросла до размеров полной футбольной команды (11 человек). Первым пополнил ее ряды Котов Владимир Александрович, МИФИст – “шестерочник”, перешедший из отдела 04 от Р. Ф. Трунина. “Шестерочниками” я называю выпускников группы № 6 энергетического (впоследствии – технической физики) фа-

культета МИФИ, закончивших этот вуз со странной специальностью – “Химия быстропротекающих физических процессов”, что при некотором напряжении мозгов легко расшифровывалось как “Физика взрыва”. Группа (как и кафедра № 4 МИФИ) предполагала регулярное пополнение специалистами газодинамических отделений ВНИИЭФ и ВНИИТФ. До конца 70-х “десанты” дипломников из МИФИ были ежегодными и массовыми. В составе одного из таких десантов и прибыли в лабораторию двое: я, Свирский Олег Владиславович, и мой однокашник, Сальников Александр Григорьевич. Инженерный состав вскоре пополнили Шишкин Юрий Борисович, бывший сотрудник 33-го производства, и Пожариский Александр Николаевич, КАИст, перешедший из конструкторского отделения. Завершили список двое молодых лаборантов: Баранов Игорь Жанович и Елисейкин Алексей Иванович.



Первые сотрудники лаборатории 0309/4. Сидят: В. А. Котов, И. Ж. Баранов, О. В. Свирский; стоят: А. Г. Сальников, А. И. Елисейкин, И. П. Савельев, Л. В. Васильев, Е. В. Савинов, Ю. Б. Шишкин, А. Н. Пожариский

Закончив представление действующих лиц, перехожу к описанию наших занятий. На первой и единственной эмблеме нашей лаборатории, аккуратно отчеканенной на медной фольге одним из наших непревзойденных умельцев Елисейкиным (“Самоделкиным”, по меткому определению В. С. Кустова), изображены наковальня и гвоздь. Вот мы и определяли, что прочнее – гвоздь или наковальня!

Неясно? Берем вторую подсказку! К 30-летнему юбилею отдела каждая лаборатория готовила свои эмблемы, плакаты, гимны и спичи. Сценарий и

тексты просматривались (не вру!) режимным отделом. И вот в моей достаточно безобидной переделке популярной песенки

*Полетят ракеты выше облаков,
Чутьочку похожие на больших орлов!
Чтоб Земля встречала их крепко, по-хозяйски,
Должен потрудиться молодой народ!*

режимщик усмотрел полное раскрытие тематики наших работ и хоть петь и не запретил, но уже распечатанные тексты потребовал уничтожить.

Короче говоря, глубокий и тайный смысл нашей деятельности заключался в разгоне взрывом как можно более тяжелых преград до возможно более высоких скоростей с дальнейшей целью преградой этой по какому-нибудь особо ответственному объекту на площадке шандарахнуть! Первоначально работы шли по направлению в “тупую бесконечность”, то есть путем увеличения габаритов и масс используемого взрывного устройства. При взрыве аж подпрыгивал железобетонный каземат. А какие глубокие воронки доводилось видеть! Но очень скоро естественные ограничения по мощности взрыва, связанные с обилием вокруг различных строительных объектов, определили физический предел этой деятельности.

Условно говоря, мы остановились на критической цифре 4, в то время как требовалось иметь несколько больше. В тайных видениях молодого специалиста мне представлялся начальник нашей лаборатории с опущенной головой и ученическим дневником в руке перед лицом сурового начальства. “Когда же Васильев получит 5?” – так называлась эта картина.

Несколько интересных идей было предложено Анатолием Григорьевичем Ивановым. Наиболее перспективной ему представлялась идея предварительного разгона в пороховой пушке большого калибра нашего взрывного устройства с последующим его подрывом. Данный проект, естественно, сразу же окрестили “Большой Бертой”, а реализовывать его выпало на долю Саши Пожариского. Задача, конечно же, была достаточно сложна технически, особенно с учетом практически полного отсутствия у нас специальных знаний в области физики горения порохов и конструирования артиллерийских систем. Тем не менее исследования начались на полученных вскоре из Тулы стволах калибра 20 мм.

Поскольку необходимый пороховой заряд должен был иметь довольно большие габариты, то следовало начать с разработки такого способа его инициирования, при котором исключался бы переход горения в детонацию. Для этого поджиг необходимо было производить практически одновременно в различных сечениях порохового заряда, чтобы путь, пройденный фронтом горения, не оказался больше допустимой критической величины. Задачу удалось решить с помощью системы разнесенных инициаторов (“взрывной флейты”) из доступного нам штатного пластического ВВ. Можно отметить, что взрывное инициирование порохов заметно отличается от известных стандартных методов их поджига, и поэтому работы в этой области имели все признаки научной новизны, что было подтверждено рядом изобретений и докладов. Уже после начала “перестройки” авторами (А. Г. Иванов и А. Н. Пожариский) была сделана попытка пробиться с докладом на Международный симпозиум

по баллистике в Стокгольме, однако время для таких поездок в те годы еще не наступило.

А проект “Большая Берта” мы так и не завершили. Дело закончилось тремя модельными испытаниями довольно симпатичной пушечки калибра 130 мм и защитой кандидатской диссертации А. Н. Пожариским. Впрочем исследования по инициированию пороховых зарядов получили вскоре продолжение и в итоге вывели лабораторию на совсем иное направление работ, где никакими пороховыми дымами уже и не пахло.



“Большая Берта” на огневой позиции. Слева – противооткатное устройство

О. В. Свирский

Как мы ходили в “атаку”

*За всех, кто вахту выстоял с нуля,
Кто смело плыл вперед, не зная страха,
Короче, за команду корабля
С коротким, злым названием “Атака”!*

Содержание работ 4-й лаборатории несколько раз радикально менялось. В этих изменениях присутствовала, впрочем, определенная логика. Напомню, что наша деятельность началась с разгона тяжелых преград взрывом. Одним из исследовательских направлений было использование пороховых зарядов для первой ступени двухкаскадного разгонного устройства. В середине 80-х

годов к нашему предприятию обратилось Конструкторское бюро машиностроения (КБМ, г. Коломна) с просьбой о технической помощи в разработке нестандартного способа инициирования штатных пороховых патронов. И, хотя конструкция самих патронов не являлась предметом полученного технического задания, начальник нашего отделения, Леонид Михайлович Тимонин, предложил факультативно исследовать их работу, поскольку технические возможности (методики и специалисты) для этого имелись. Наши работы по этому направлению продолжались в течение нескольких лет и были весьма интересными как по содержанию, так и по результату. К сожалению, о них невозможно рассказать на страницах этой книги. Но главным итогом этой работы стало заслуженное уважение со стороны коллег из Коломны, в результате чего 4-я лаборатория вскоре ушла в совершенно новое и нетрадиционное для ВНИИЭФ направление работ.

Конечно же, корифеями в этой области считались совершенно другие специалисты и организации. Однако абсолютно дурацкая система конкуренции между отечественными оборонными “фирмами” мешала, да и до сих пор продолжает мешать координации усилий в ряде направлений разработок обычного оружия. Так вышло, что в той кооперации, куда входило КБМ, выполнить разработку долгое время не удавалось. Привлечь традиционных специалистов из других организаций также не было никакой возможности – умыкнули бы задачу (и соответствующее финансирование) целиком, оставив Коломну у разбитого корыта! И вот после долгих раздумий руководство КБМ вновь решилось поискать во ВНИИЭФ палочку-выручалочку!

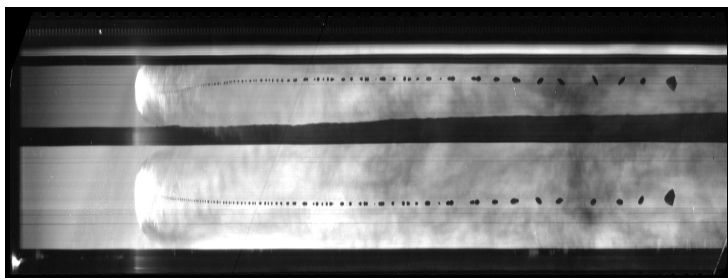
Сомнения были не только у руководства КБМ, но и у рядовых исполнителей. “Кумулятивный заряд – это же очень просто! – подкалывали нас на инженерном уровне. – Инициатор, взрывчатка, облицовка – и все! Где же тут высокая наука и интерес для вашего супер-ученого института?” Справедливости ради скажу, что похожие рассуждения пришлось позднее выслушивать и от ряда наших больших ученых, завоевавших авторитет в проектировании ядерных зарядов. Когда выяснилось, что проблема является достаточно сложной, когда и у нас начались неудачи, пошли разговоры: “Как можно так долго возиться с такой простой задачей? Надо было сразу взять нашу, самую лучшую в мире взрывчатку для ядерных зарядов, подобрать параметры инициатора. Надо было поручить теоретикам рассчитать параметры заряда самыми мудрыми методами. И... все остальное получится автоматически, дубинушка сама пойдет...” Мысли о необходимости дополнительных исследований, о том, что мы столкнулись с подводными камнями (недоработками и стереотипами), заложенными в традиционных требованиях к кумулятивным зарядам, не посещали умы наших критиков. Оказалось, что браться за новую задачу было большой смелостью и с нашей стороны.

Первым из тех, кто проявил эту личную смелость, был Леонид Владимирович Васильев, первый начальник 4-й лаборатории. Леонид Владимирович рано ушел из жизни и не застал окончания нашей разработки. Отдать ему должное на этих страницах просто необходимо. Он появился в 26-м отделе в 1956 году по распределению, окончив техникум в Краснодаре по специальности “электромонтер”. Высшее образование получил уже в Арзамасе-16, в от-

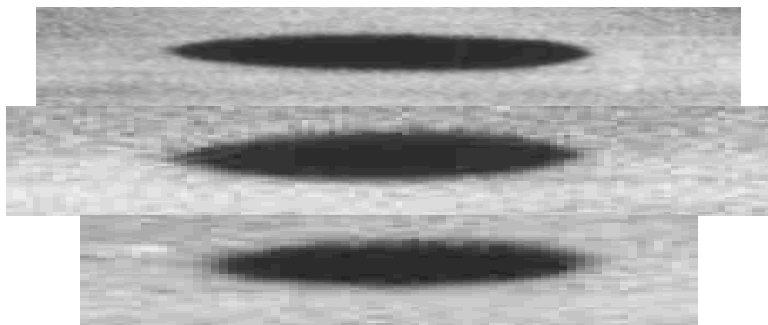
деле прошел путь от техника до начальника научно-исследовательской лаборатории. Всегда считал, что своим успехам он больше всего обязан себе самому, и это было предметом его гордости. Он неизменно участвовал практически во всех экспериментах, проводимых лабораторией, и бережно и обстоятельно относился к их организации. Его фраза, которую он часто повторял, “Опыт сначала нужно проводить за столом!”, подчеркивает серьезность отношения к работе. Вместе со Станиславом Алексеевичем Климовым, начальником конструкторского отдела, они вынесли на своих плечах всю сложность становления работ по созданию новых кумулятивных боеприпасов.

А физика работы кумулятивных зарядов оказалась чрезвычайно интересным и далеко не полностью раскрытым направлением, хотя и перепаханым вдоль и поперек многочисленными исследователями примерно за 50 лет существования этих систем. Современный кумулятивный заряд представляет собой высокоточное изделие, сопоставимое по требованиям к точности сборки и изготовления отдельных деталей с лучшими оптическими системами. При этом требования к материалу и технологии изготовления основной механической детали – кумулятивной облицовки – имеют решающее значение.

Наиболее интересной экспериментальной задачей стало исследование поведения кумулятивной струи в свободном полете. Здесь широкое применение получила синхробаллистическая методика регистрации, позволяющая определять в одном опыте широкий набор параметров, характеризующих ее конечное состояние. Мы научились определять, на какое количество элементов разрушается в итоге кумулятивная струя, какую форму и размеры имеет каждый элемент, в какой момент времени происходит разрушение. Были исследованы зависимости этих параметров от микроструктуры и химической чистоты исходного материала. В наиболее продвинутом, ортогональном варианте синхробаллистической съемки возможна успешная регистрация как скоростей осевого перемещения отдельных элементов (порядка нескольких километров в секунду), так и значительно меньших скоростей их бокового смещения – “дрейфа” (порядка десятков и единиц метров в секунду). Величины скорости дрейфа характеризуют качество изготовления кумулятивного заряда и во многом определяют его пробивную способность. Синхробаллистическая съемка как способ фоторегистрации летящих объектов была известна и ранее, мы (Л. В. Васильев, В. А. Котов, О. В. Свирский, А. И. Нечаев, В. А. Крутяков) разработали оригинальный вариант этого способа. Аппаратурное обеспечение (доработка камер СФР, пультов управления и разработка датчиков временных меток) было проведено приборной лабораторией отдела (Б. М. Ловягин, А. А. Болотов, В. И. Перебатов). Практическим итогом проведенных исследований стало обоснование новых, повышенных требований к чистоте и микроструктуре материала кумулятивных облицовок. Резко повысилась стабильность результатов, а рост пробивной способности кумулятивных зарядов составил 10–15 % по сравнению с аналогичными конструкциями традиционных разработчиков.



Ортогональный синхробаллистический снимок кумулятивной струи
(направление полета – слева направо)



Реальная геометрия элементов струи по результатам обработки снимков

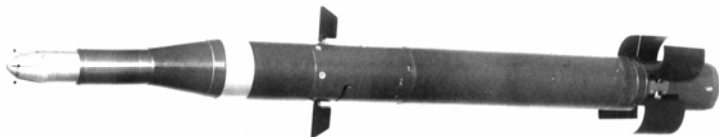
Потребовали пересмотра и некоторые известные расчетные методы. Конечно, каждому разработчику интересно оценить конечный результат (пробивную способность заряда в нашем случае). Поскольку расчетные модели для этого, конечно же, создавались до нас, то за ответом естественно было отправиться в техническую библиотеку. По мере знакомства с предметом нарастало чувство глубокого разочарования. В отечественной литературе господствовала известная формула Лаврентьева, поздние авторы, как правило, лишь выражали свое глубокое восхищение торжеством гидродинамической теории проникания. Все правильно и справедливо..., но только по состоянию на 1957 год, когда М. А. Лаврентьев опубликовал статью о принципах работы кумулятивного заряда. Его знаменитая формула хорошо иллюстрирует принцип, но плохо подходит для практического использования. В формулу надо подставить длину струи – какую? Струя непрерывно удлиняется из-за разности скоростей на ее концах, как в известных строчках Маяковского:

*Пока Вы с аршином к ноздре бежите,
У “Крокодила” с хвоста подрастает тираж!..*

Зная предельную длину струи, еще можно оценить по формуле Лаврентьева максимально достижимую величину бронепробития. Страх какие большие цифры получаются, кто предельную длину мерил – знает. Поэтому отечественные теоретики для совпадения с практикой нарезали струю на части, обвешивали Лаврентьевскую формулу эмпирическими коэффициентами, значения которых надо было принимать на веру. В сторону шагнуть мешал, видимо, авторитет академика. А фокус в том, что для случая линейного распре-

деления скорости вдоль кумулятивной струи, задача имеет простое аналитическое решение, отличное от лаврентьевского, хотя и в рамках той же гидродинамической теории. Мы с Андреем Цоем его в 1994 году сами вывели. Но удивить мир не удалось, поскольку эта формула, как выяснилось, впервые была получена американцами Аллисоном и Витали еще в 1963 году! Однако задача расчетного определения пробивной способности кумулятивной струи, к счастью, не исчерпывается одной формулой. По совокупности наработок нами была сформирована собственная расчетная методика ATOS (Andrey Tsoy + Oleg Svirskiy), различные варианты которой (и другие работы по кумуляции) впоследствии неоднократно представлялись на российских и международных конференциях.

Пора вернуться к нашему первенцу. Противотанковая управляемая ракета “Атака” с боевой частью, разработанной нами, стала первым неядерным боеприпасом, созданным с участием ВНИИЭФ. Ее серийное производство началось в середине 90-х годов, через несколько лет боевая часть была существенно модернизирована на основе новых наработанных за эти годы технических решений. В 2002 году разработка и серийное освоение многофункциональной ракеты “Атака” было отмечено Государственной премией России.



Первый неядерный боеприпас МАЭ – противотанковая управляемая ракета “Атака” с боевой частью разработки ВНИИЭФ

История разработки в шутливой форме изложена в следующем произведении:

*Четыре года рыскал в море наш корсар,
Вилял кормой, заваливался носом,
Пока училась штопать паруса
Шпана, Коломной взятая в матросы!*

*Плыла «Атака» с горем пополам –
Казалось, поиск будет бесконечен.
А Климов всем авансы раздавал:
“Спокойно, ерунда, еще не вечер!”*

*Встречал он этой фразою не раз
Заказчиков, от гнева злых и серых.
Ах, как хотелось им увидеть нас
Прикованными к веслам на галерах!*

Заряд трещал, по борту тек виксинт^{},
Между кормой и носом – несоосность,
Рулили, опираясь на инстинкт,
И тыкались в пробоины на ощупь.*

*Который раз, из дырки вынув гвоздь,
Мы расходились молча, без оваций:
Ведь, если нет отверстия насквозь,
То дальше в лет не стоит и соваться!*

*Рывок вперед – и снова на мели,
Опять Вуколов^{**} смотрит с укоризной.
Ах, сколько мы снарядов извели,
Пока навек не распрощались с линзой^{***}!*

*И снова – в бой! Ну, чем не шутит черт!
Лупили на контрольных, как картечью.
Макетам “Леопардов”^{****} – в лоб и в борт!
Еще не вечер! Нет, еще не вечер!
Еще не раз корабль кренился наш,
И в лете были недолеты к цели,
Но мы уже пошли на абордаж
И, оказалось, вовремя успели!*

*За всех, кто не хотел идти на дно,
За наши руки, головы и плечи,
Чтоб мы и дальше были заодно,
И этот день – для нас еще не вечер!*

Исследования в области кумулятивных зарядов успешно продолжают в лаборатории (ныне секторе) 0309/4 в течение последних лет. Создана новая, существенно более мощная, по сравнению с “Атаккой”, боевая часть для ПТРК “Хризантема”, принятого на вооружение Российской армии. Сопутствующие научные результаты неоднократно были представлены на таких серьезных форумах, как международные симпозиумы по баллистике и высокоскоростному удару. Откликаясь на персональные приглашения, автор этих строк успешно выступал с обзорными докладами в новосибирском Академгородке (2003) и Кембриджском университете (2004).

^{*} Конструкционный материал (компаунд).

^{**} Коллега из КБМ.

^{***} Инертный элемент заряда, обеспечивающий заданную форму детонационно-го фронта.

^{****} Один из основных боевых танков НАТО.

А. Г. Иванов

Работа в ядерном центре

В начале июня 1953 года я получил направление на работу в КБ-11. Уезжали с Казанского вокзала Москвы, утром в Арзамасе наш вагон отцепили, и день он простоял около водонапорной башни, а на следующее утро прибыли на “объект”. Отдел кадров располагался в восточной части здания, отданного теперь городскому музею. На территории завода были построены 2-3 трехэтажных здания. В здании слева от проходной, где сейчас сектор 7, располагались кабинеты Ю. Б. Харитона и его заместителя К. И. Щелкина, на третьем этаже – конференц-зал. Наш 26 отдел располагался и занимал 3 комнаты на втором этаже в здании справа. В одной комнате находился начальник отдела А. Д. Захаренков, его заместитель Н. А. Казаченко и А. Г. Олейник – мой однокурсник, месяца на два приехавший раньше меня. Во второй комнате размещались рабочие места В. С. Кустова, В. К. Орлова, Б. С. Калашникова, Ю. Тимофеева, М. Горяевой. Меня определили к прибористам в комнату Е. С. Антонец и Ю. В. Лисицына. На первом этаже располагалась слесарная мастерская. Ее возглавлял А. Х. Шинкевич. Отдел наш состоял из 16-18 сотрудников.

Ко времени моего прибытия на “объект” здесь еще работали заключенные, они мостили булыжником улицу, примыкавшую к железнодорожному вокзалу, и лестницу “Миру – мир”. Часть заключенных проживала в бараке, в лесу, на продолжении современной улицы Шверника.

Рассказывали, что раза два на “объекте” был Берия. В один из таких приездов навстречу ему попался один из “бобров” (так называли тогда хорошо обеспеченных людей). Увидев Берию, тот с испугу зарулил в канаву.

На монастырской площади еще оставался цел древний храм, в простонародье именуемый “веревочкой”. На фронте виднелась довоенная надпись, сколько в 1940 году СССР будет выплавлять стали, добывать угля и т. д. В следующем 1954 году он будет снесен. Позже предпринималась попытка снести и колокольню, как демаскирующее строение. Но благодаря твердой позиции начальника “объекта” Б. Г. Музрукова удалось сохранить ее.

Кстати, о маскировке “объекта”. Где-то в 1954–1956 годах Леша Олейник привез из Москвы карту, купленную в магазине, где зона расположения “объекта” была четко обозначена, по-видимому, при геодезической съемке. Карту забрали представители режимной службы.

В 1953 году, как мне сообщил сопровождавший вагоны, в одном из которых я ехал в Саров, сменили узкую ж/д колею на нормальную.

Вскоре после ознакомления с инструкциями по взрывным работам начались мои поездки на экспериментальные площадки. В то время функционировала наша 3-я площадка (1-й каземат) в 7 км от основного расположения отдела. Добирались туда на обычной грузовой открытой машине. Взрывные работы, особенно с натурными блоками, затягивались иногда часов на 8–10, а после возвращения в корпус ждали еще около получаса, пока проявят пленки, и тогда оценивали предварительно результаты работы.

Мой первый опыт с “шестеркой”, блок заряда РДС-6с, который проводился в догонку отправленного на испытание боевого заряда, оказался неудачным. Руководителем группы был мой непосредственный начальник Антонец Е. С. Опыт проводился со сферическим блоком $\frac{3}{4}$. Примерно $\frac{1}{4}$ сферы ВВ была удалена для защиты измерительных линий основной информации, которые должны были стыковаться с измерительными кабелями к приборам регистрации посредством прямого разъема.

К сожалению, как выяснилось незадолго до завершения подготовки к проведению взрыва, прямого измерительного разъема не оказалось в наличии. Имелись только Г-образные разъемы. При их использовании возникала реальная опасность потери информации из-за преждевременного перебития линий связи. Решили рискнуть, в надежде что “пронесет”. Не “пронесло”. Этот горький опыт надолго остался в памяти. Думаю, что нас выручило то, что отлично сработал боевой заряд на полигоне, если это действительно был блок РДС-6с.

Можно ли было избежать такого результата и провести опыт с существенно меньшим риском? Можно. Нужно было хотя бы напрямую, без штыревого разъема, соединить измерительные провода с коаксиальными кабелями, идущими к приборам, в нарушение утвержденной технической документации и инструкций. Все мы сильны задним умом. Плата могла оказаться серьезной, сработай боевой заряд не так хорошо.

Параллельно с газодинамической отработкой симметрии схождения ЦЧ и определения динамических характеристик зарядов после успешного испытания первого ТЯ заряда РДС-6с в отделе началась газодинамическая отработка двухстадийного ТЯ заряда РДС-37. Наибольший вклад внесли трое ветеранов отдела: В. С. Кустов, Б. С. Калашников, Ю. В. Лисицын.

Схема этого ТЯ заряда явилась как в США, так и у нас прообразом последующих ТЯ зарядов.

В 1955 году численность отдела уменьшилась фактически в 2 раза, так как в Снежинске создавался второй атомный центр, НИИ-1011 (ВНИИТФ), и часть сотрудников отдела вместе с А. Д. Захаренковым была переведена туда. Отдел 26 возглавил его заместитель, Н. А. Казаченко.



Виктор Сергеевич
Кустов



Борис Сергеевич
Калашников



Юрий Васильевич
Лисицын

В это время уже существовала аспирантура без отрыва от производства. После преодоления некоторого сопротивления со стороны секретаря партбюро сектора я был зачислен. Моим руководителем стал Борис Николаевич Леденев. Правда, работу по намеченному с ним плану исследований пришлось вскоре отложить ввиду чрезвычайно интенсивной загрузки по отработке ТЯ изделий следующего типа, предложенных Ю. А. Трутневым и Ю. Н. Бабаевым. Результаты проведенных исследований по газодинамической отработке группы зарядов этого вида и явились основным содержанием моей кандидатской диссертации.

Работы по конструкции ТЯ заряда, предложенного в 1956 году В. П. Федоритовым, привели меня в 1958 году к идее следующего вида ТЯ заряда, нашедшего впоследствии достаточно широкое признание. Авторское свидетельство на его конструкцию (№ 57250 от 08.07.71 г.) достойно Книги рекордов Гиннеса, так как принадлежит 20(!) соавторам.

Ознакомившись с моей кандидатской диссертацией, Ю. Б. Харитон и Е. А. Негин порекомендовали мне переоформить ее в качестве отчета, а на защиту представить доклад, дополнив его моим предложением нового вида ТЯ заряда и еще 2-3 отчетами по газодинамической проверке предложенной конструкции. Защита диссертации состоялась в мае 1965 года. Мне была присуждена ученая степень кандидата физ.-мат. наук, а повторным голосованием – ученая степень доктора технических наук. Моими оппонентами были Л. В. Альтшулер, Е. А. Негин и Д. А. Фишман. Решение ученого совета было утверждено ВАК в декабре того же года.

После 1956 года отдел постепенно пополнялся молодыми специалистами. В отдел тогда прибыли Л. В. Васильев, С. А. Новиков, В. Н. Минеев, В. А. Синицын, И. И. Дивнов, Ю. И. Тарасов и др. Представилась возможность, помимо отработки атомных и ТЯ зарядов, начать исследования поведения металлов при взрывном нагружении методом емкостного датчика. В одном из первых опытов, при исследовании упругопластических волн образца из Ст.3, после взрывного нагружения его, был обнаружен центральный осколок с гладкой конической поверхностью. Последующие опыты и обсуждение этого явления с Я. Б. Зельдовичем привели нас к первому во ВНИИЭФ открытию – открытию ударных волн разрежения.

С отъездом Б. Н. Леденева из Сарова, должность начальника сектора (будущего ИФВ) занял Н. А. Казаченко, а я с 07.05.58 года был назначен исполняющим обязанности начальника отдела 26 (09). И, как потом окажется, буду занимать эту должность вплоть до 01.01.97 года, почти 40 лет!

За работой время пробежало незаметно. Выросли сыновья. Старший, Миша, окончил МИФИ в Москве, работал в Институте кристаллографии. Защитил кандидатскую диссертацию. Младший, Глеб, учился в Москве, на физико-математическом факультете МГУ, также защитил кандидатскую диссертацию. Сыновья мои подарили нам с женой троих очаровательных внуков.

Фотографии из семейного альбома



Война позади. А. Г. Иванов с однополчанином П. Голубевым. Зима 1945 года



Жена Галя с сыном Мишей. 1953 год



Галя с сыновьями Глебом и Мишей. 1958 год



Моя матушка с внуком Глебом. 1960 год



Отдыхать – так всей семьей! 1978 год



Сын Миша с женой Росицей



Внучка Аня нашла белые грибы!



Внуки Аня, Гриша и Сережа

В октябре 1998 года мне исполнилось 75 лет. Отдавая себе отчет, что на юбилеях всегда преувеличивают заслуги юбиляра, тем не менее не могу не процитировать талантливых строк О. В. Свирского:

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ!



**МАГУ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЗРЫВНЫХ
ЯВЛЕНИЙ, ГАЗО- ГИДРОДИНАМИКИ
СПЕЦПРИБОРОВ, ПРОЧНОСТИ СОСУДОВ,
СОЗДАТЕЛЮ ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ**

**НАШЕМУ УЧИТЕЛЮ
АНАТОЛИЮ ГРИГОРЬЕВИЧУ ИВАНОВУ**

**ОТ СОРАТНИКОВ И СОТРУДНИКОВ
ОТДЕЛА 0309**

*Вам в первой четверти пути
Сквозь дым войны пришлось пройти,
Не отступив назад ни шагу
Вы заслужили «За отвагу!»*

*Но долг путь – вперед идти
Еще три четверти пути!*

*В иные сферы путь лежит,
Где Вы свой взлет не прозевали,
И самый прочный в мире щит
Здесь с Божьей помощью сковали!*

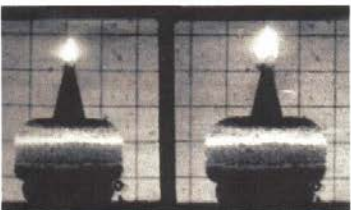
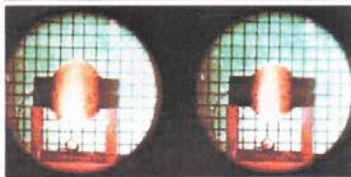
*Но надо все-таки пройти
Еще две четверти пути!*

*Не счесть заслуг в науках точных:
Как не скрывала тайны прочность,
Все, что в ней виделось невнятно
Теперь открыто и понятно!*

*И Вы три четверти пути
Смогли уверенно пройти!*

*Вас не состарили года:
Тверда походка, мысли ясны,
Остры идеи, и всегда
Для оппонентов вы опасны!*

*Желаем полностью пройти
Четыре четверти пути!*



В следующем, 1999 году, минуло 50 лет после первого успешного испытания атомного заряда в СССР. В те далекие годы в стране была острая нехватка инженеров-физиков [20]. Для решения этой проблемы в 1947 году был создан новый физико-технический факультет в МГУ, который спустя 4 года был преобразован в самостоятельный институт.



Выпускники физико-технического факультета МГУ, лауреаты Ленинской премии, собравшиеся в Сарове на юбилей. Справа налево: М. В. Сеницын, А. Г. Олейник, В. М. Герасимов, А. Г. Иванов

Мы были из первого серьезного пополнения инженеров-физиков, прибывших в Саров в 1953 году для решения одной из основных задач, стоявших перед страной в те годы.

Завершив этот, во многом коллективный труд, выражаю глубокую благодарность всем сотрудникам отдела и института, с которыми пришлось взаимодействовать в течение прошедших лет, в том числе прямым руководителям ИФВ Л. М. Тимонину и А. Л. Михайлову, способствовавшим написанию этой книги, а также И. Б. Кузиной и Н. В. Ефремовой за помощь в подготовке материалов и пожелать всем словами Н. Рубцова:

*Пусть душа
Останется чиста
До конца
До смертного креста.*



Сотрудники отдела 09 ИФВ. 1989 год

Список сокращений

А и ТЯ – атомное и термоядерное;
БКР – блок контроля одновременности;
БУТ – баллистическая ударная труба;
ВВ – взрывчатое вещество;
ВПП – взрывной пьезогенератор;
ГДМ – гидродинамический макет;
ГДО – газодинамическая отработка;
ГИИ – генератор искровых импульсов;
ГИН – генератор импульсного напряжения;
ГММ – генератор масштабных меток;
ГОИ – Государственный оптический институт;
ГП – геометрическое подобие;
ГСИ – генератор световых импульсов;
ГЧ – головная часть;
ДВ – датчик времени;
ДНМ – датчик нулевых меток;
ИНИ – источник нейтронного инициирования;
ИРУ – импульсная рентгеновская установка;
КД – конструкторская документация;
МГШ – метод грунтового шара;
МКТ – малое космическое тело;
МР – механика разрушения;
МЭ – масштабный эффект;
МЭЭП – масштабный эффект энергетической природы;
НЗ – нейтронный запал;
НЦР – неполная цепная реакция;
ПВ – продукты взрыва;
СДУ – система датчиков ударных;
СМ – сопротивление материалов;
СМР – современная механика разрушения;
СФР – сверхскоростная фоторегистрирующая установка;
ТИ – термоядерный инициатор;
ТИГ – транспортабельный импульсный генератор;
ТНТ – тетранитротолуол;
ТЭ – тротиловый эквивалент;
УВ – ударная волна;
УСФ – установка скоростная фоторегистрирующая;
ЦП РФ – Центральный полигон Российской Федерации;
СДИ – система детонационного инициирования;
ЭД – электродетонатор;
ЯЗ – ядерный заряд;
ЯО – ядерное оружие.

Содержание

К читателю	3
Введение	6
ГЛАВА 1. Краткие итоги работы отдела 09 ИФВ за 50 лет	12
1.1. Атомные заряды	12
1.2. Термоядерные заряды	13
1.3. Прочность материалов при ударном нагружении	18
1.4. Методики регистрации и измерительные комплексы	22
1.5. ЭДС при ударном нагружении веществ	23
1.6. Соударение головных частей (ГЧ) с преградами. Обычное вооружение	25
ГЛАВА 2. Жизнь сотрудников отдела за прошедшее время во всем ее многообразии	26
Взгляд назад спустя 30 лет	26
Выход в научный мир СССР	28
Научные командировки за рубеж	28
Полвека спустя	29
Об общественной жизни, коллективных поездках по историческим местам, праздниках, спорте, субботниках	31
Литература к главам 1 и 2	35
ГЛАВА 3. Очерки сотрудников отдела 09 (26, 0309)	36
<i>В. А. Беспалов</i> Три картонки	36
Рога и кувалда	37
<i>Е. В. Савинов</i> Как это было	38
<i>И. Е. Максимов</i> Моим вторым домом был отдел 26... ..	42
<i>Е. В. Савинов</i> На Ахтубу	43
<i>В. Н. Минеев</i> Моя работа в отделе 26	45
<i>Л. И. Кочкин</i> О моей работе в отделе 09 (26, 0309) ИФВ	64
Курьезные случаи в серьезной работе	66
Два ЧП	67
<i>А. Г. Иванов</i> Емкостной датчик	69
Ударные волны разрежения. Первый академик ИФВ ..	72
Трепетать!	77
Панама	79
<i>В. Д. Макаров</i> Из воспоминаний о прошлом	81
<i>В. А. Сеницын</i> Динамическая прочность и масштабный эффект	89
<i>А. Г. Иванов</i> Масштабные эффекты энергетической природы. Их ведущая роль при хрупких разрушениях	94

<i>В. А. Рыжанский</i>	Эпизоды участия отдела 0309 ИФВ в исследованиях в области безопасности атомной энергетики	98
<i>А. Г. Иванов</i>	Игра в одни ворота	114
	Премия	120
<i>Е. З. Новицкий</i>	Приборы, люди, события... и не только, или 30 лет работы в отделе 26 (0309) сектора 3 (отделения 03) . .	124
<i>А. Г. Иванов, А. Г. Федоренко, М. А. Сырунин</i>	Можно ли загнать ядерного джина в бутылку?	140
<i>А. Г. Федоренко</i>	О сферическом сталь-композитном взрывозащитном контейнере	144
<i>М. А. Сырунин</i>	Международное сотрудничество по “контейнерной” тематике	148
<i>В. А. Огородников</i>	Былое и думы	154
<i>А. Г. Иванов</i>	Прокол	166
<i>А. Г. Иванов, Е. З. Новицкий</i>	Я. Б. Зельдович и ударная поляризация	173
<i>Н. П. Хохлов</i>	Становление лабораторной базы отдела и полигонная работа	176
<i>Б. М. Ловягин, А. А. Болотов, В. М. Муругов, В. И. Лучинин</i>	Аппаратурные комплексы и методики для полигонов .	179
<i>В. Д. Садунов</i>	Электрически активные материалы и взрывные пьезогенераторы	207
<i>А. Г. Иванов, В. А. Рыжанский</i>	Вхождение в космос	213
<i>Е. В. Савинов, О. В. Свирский</i>	Загадка, разгаданная дважды	217
<i>О. В. Свирский</i>	Высокоскоростное метание ударников	218
	Как мы ходили в “Атаку”	221
<i>А. Г. Иванов</i>	Работа в ядерном центре	227
	Список сокращений	235

Взрывы ради мира

Редактор *Е. А. Мясоедова*

Корректор *М. В. Кривова*

Компьютерная подготовка оригинала-макета

М. С. Мещерякова, Е. Л. Соседко

Художник *Т. В. Андреева*

Подписано в печать 26.09.05 Формат 70×108/16

Печать офсетная. Уч.-изд. л. ~20 Усл.-печ. л. ~19,3

Тираж 300 экз. Заказ 2041-05

ПД 0568 от 22.05.2000

Отпечатано в ИПК ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”

607188, г. Саров Нижегородской обл., ул. Силкина, 23