

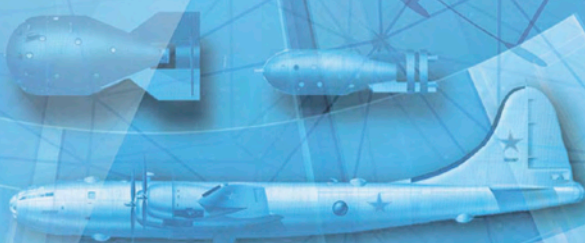
ATOM

No 84 2019





**В апреле 2019 г. исполнилось
60 лет со дня образования в составе KB-11
отдельных первого и второго
тематических направлений по разработке
специзделий, впоследствии оформившихся
в KB-1 и KB-2.**



В НОМЕРЕ:

№ 4(84)'2019

АТОМНЫЙ ПРОЕКТ. ИСТОРИЯ. ЛЮДИ. ПРОБЛЕМЫ

- 2** В. Н. Морозов,
С. В. Колесников Истоки и достижения (К 60-летию
Конструкторского бюро № 2
РФЯЦ-ВНИИЭФ)
- 10** Ал. А. Демидов,
М. А. Власова,
А. Л. Михайлов Малоизвестная страница истории
Атомного проекта
- 15** А. Л. Михайлов Школа академика Н. Н. Семёнова.
Кафедра № 4 МИФИ
- 24** А. В. Белоцерковец Мой диплом в Институте химфизики
- 27** С. С. Жихарев Теоретик и полигоны

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- 32** Е. Е. Мешков Начало исследований «рихтмайеровской»
неустойчивости во ВНИИЭФ
- 37** В. Е. Маршалкин В большой ядерной энергетике нет
альтернативы замкнутому
торий-уран-плутониевому
топливному циклу

НАША ЗЕМЛЯ

- 43** М. А. Власова,
Ю. В. Власов,
С. Ю. Власов Два времени Байкала
- 48** С. Т. Брезкун Вот грибы – запоминай
и в корзинку собирай!

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

В. Е. Аблесимов (ведущий научный
сотрудник ИЛФИ, канд. физ.-мат. наук);
А. В. Белоцерковец (старший научный
сотрудник ИЛФИ);
Г. А. Карташов (советник при дирекции
РФЯЦ-ВНИИЭФ, профессор);
В. И. Лукьянов (главный специалист
СДС РФЯЦ-ВНИИЭФ);
А. Е. Малеев (художник-инженер ИЯРФ);
Е. Е. Мешков (доцент СарФТИ, канд.
физ.-мат. наук);
Л. Н. Пляшкевич (ведущий научный
сотрудник НПЦФ, канд. техн. наук);
А. А. Косоголов (начальник отдела
ИЯРФ);
А. В. Чувиковский (начальник ИПЦ
РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Редактор

Н. П. Гомонова

Компьютерная подготовка оригинала-макета

М. С. Мещерякова, Е. Л. Соседко

©ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019
©Авторы публикаций, 2019

Отпечатано
в Издательско-полиграфическом цехе
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,
2019 г.

Цена договорная

На 1-й стр. обложки: восход солнца; вид с мыса Бурхан летом
(к статье М. А. Власовой и др.).

На 4-й стр. обложки: восход солнца; вид с мыса Бурхан зимой
(к статье М. А. Власовой и др.).

Адрес редакции: 607188, г. Саров Нижегородской обл., пр. Мира, д. 37,
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Телефон: (831-30)775-85.
Факс: (831-30)776-68. E-mail: volkova@vniief.ru

Подписано в печать
08.10.2019 г.
Формат 84×108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. ~ 6,0
Уч.-изд. л. ~ 5,5
Тираж 1000 экз.
Заказ 1541-2019



Истоки и достижения

(К 60-летию Конструкторского бюро № 2 РФЯЦ-ВНИИЭФ)

В. Н. МОРОЗОВ, С. В. КОЛЕСНИКОВ

Уважаемый читатель! Вашему вниманию представляются материалы о развитии Конструкторского бюро № 2 – одного из ведущих подразделений Российского федерального ядерного центра – Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (РФЯЦ-ВНИИЭФ), подразделения, основными задачами которого являются разработка ядерного боевого оснащения для комплексов оружия различного назначения, поддержание боеготовности, надежности и безопасности созданного арсенала ядерного оружия.

Ядерный боеприпас – сложнейшая техническая система, впитавшая в себя громадный объем знаний человечества и уникальные технологии. КБ-2 является интегратором работ в области разработки ядерных боеприпасов не только специалистов практически всех подразделений ВНИИЭФ, но и многих смежных предприятий и организаций как промышленности, так и Минобороны РФ.

Начиная с создания первой атомной бомбы, 70-летие испытаний которой отмечается в этом году, стал формироваться коллектив специалистов, обеспечивающих решение таких принципиально новых научно-технических проблем, как разработка автоматики подрыва атомного заряда, разработка специальных аэродинамических корпусов атомных бомб и пр. Созданные для выполнения этих работ структуры и их коллективы, послужили научно-производственной и кадровой основой для формирования второго тематического направления – КБ-2, организованного на основании Постановления ЦК КПСС и СМ СССР от 28 апреля 1959 г. «О перестройке научного руководства КБ-11», приказом министра МСМ от 12 мая 1959 г., главным конструктором которого был назначен С. Г. Кочарянц.

В этих коллективах (в то время сектора 6 и 9, образованы в 1952 г.) уже был накоплен большой опыт разработки приборов специальной автоматики – критических датчиков и ступеней

предохранения на барометрическом и манометрическом принципах действия, опыт создания ядерных боеприпасов – аэробаллистической отработки корпусов авиабомб серии РДС, разработки боевых частей к появляющемуся новому виду носителей термоядерных боеприпасов – ракет Р-5М, Р-12, Р-7А, Р-14 и др.

2 февраля 1956 г. оснащенная термоядерным зарядом ракета Р-5М была испытана в войсковых условиях и передана на вооружение. По сути, впервые в стране были заложены основы школы боеприпасостроения и создания специальной автоматики для безопасного и эффективного функционирования боеприпаса.

В 1954 г. от КБ-11 отделилось КБ-25 (Н. Л. Духов, г. Москва), а в 1955 г. – НИИ-11 (К. И. Щёлкин, г. Челябинск). Однако, несмотря на разделение, все вместе дружно продолжали реализовывать научно-технический задел, созданный еще в КБ-11, тем более, что заряды были разработаны КБ-11. Поэтому сотрудники ВНИИЭФ продолжали участвовать в испытаниях и разработках своих коллег.

КБ-2 является самым крупным из научно-исследовательских и научно-конструкторских подразделений ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Создание и становление КБ-2 происходило под руководством главного конструктора С. Г. Кочарянца, основателя КБ. Далее КБ-2 возглавляли главные конструкторы Г. Н. Дмитриев и Ю. И. Файков.



С. Г. Кочарянц



Г. Н. Дмитриев



Ю. И. Файков



В. Н. Морозов

В настоящее время КБ-2 руководит главный конструктор В. Н. Морозов.

Важнейшей задачей на первом этапе создания боеприпасов стала разработка автоматики подрыва заряда и автоматики задействия боеприпаса. Иными словами, нужно было спроектировать боеприпас и разработать такую систему автоматики, которая бы, учитывая специфические особенности заряда, боевого блока и носителя, обеспечивала его необходимые режимы функционирования, удовлетворяя всему комплексу предъявляемых требований надежности, безопасности и эффективности.

Новизна и специфика возникавших вопросов оказались такими, что знаний и опыта у разработчиков боеприпасов оказалось недостаточно, и их нужно было приобретать. Поэтому, учитывая абсолютную закрытость и срочность проекта, специалисты КБ-11 очень быстро от простого «кураторства» разработок, порученных другим организациям, переходили к собственным.

Прежде всего это касалось выбора обводов и оперения атомных бомб, определение их аэродинамических и баллистических характеристик, создания бортовых систем иницирования заряда, обеспечивающих малую разновременность задействия групп электродетонаторов, систем предохранения и воздушного подрыва, а также реализующих их баро- и радиодатчиков.

В сентябре 1947 г. на работу в КБ-11 прибыл С. Г. Кочарянц, и ему сразу же была поручена разработка электротехнической части иницирования РДС-1. Эта задача была успешно решена коллективом специалистов под его руководством. Далее стала разворачиваться деятельность по разработке авиационных бомб. Объем и сложность работ значительно возросли, и в 1952 г. был создан специальный сектор автоматики № 6 под руководством С. Г. Кочарянца. В 1950-е гг. коллектив сектора 6 успешно решал

вопросы создания систем автоматики для первых ядерных и термоядерных зарядов, включая эпохальные работы по созданию РДС-6с и РДС-37.

В 1950-х – начале 1960-х гг. в КБ-2 были созданы:

- система внешнего нейтронного иницирования;
- системы воздушного и контактного подрыва;
- система предохранения и обеспечения дистанции безопасности на различных физических принципах;
- системы прочностных и аэробаллистических расчетов, системы учета возмущающих факторов и расчета эффективности;
- система эксплуатации и транспортировки;
- системы контроля и проверки изделий;
- система обеспечения летных испытаний;
- основы экспериментальной базы отработки приборов систем автоматики и изделий в целом, а также аэробаллистических испытаний;
- уникальная технологическая и производственная база создания приборов системы автоматики и изделий в целом.

Массогабаритные характеристики приборов систем автоматики были снижены на два порядка, увеличена надежность, их прочность и стойкость к воздействиям линейных, ударных и виброускорений. Это позволило практически снять ограничения на транспортировку боеприпаса железнодорожным транспортом и обосновать возможность использования в составе самоходных установок (например, шасси «Иосиф Сталин» для комплексов «Филин» и «Марс»), а также в составе ракет стратегического назначения шахтного и подвижного базирования.

Главное – наряду с обеспечением чрезвычайно важных конструкционных, технологических и эксплуатационных характеристик фактически был реализован принцип: боеприпас не должен срабатывать нигде и никогда, кроме как у цели и только при боевом применении.

При разработке атомных и термоядерных боеприпасов в авиабомбах возникла необходимость контроля работы системы автоматики и системы иницирования с помощью бортовых (самолетных) и наземных радиотелеметрических систем общего назначения. Разработка системы иницирования с внешним нейтронным источником (система ИНИ) привела к необходимости контроля этой системы. Однако, процессы, подлежащие контролю, протекают в микросекундных интервалах времени, и разработанные системы радиотелеметрического контроля оказались непригод-

ными для регистрации этих быстропотекающих процессов.

С целью решения возникших проблем была разработана специальная радиотелеметрическая система СКИНИ, работающая в импульсном режиме при формировании команды на инициирование заряда. Разработанная методика радиотелеметрического контроля системы автоматики и параметров ядерного боеприпаса явилась единственной методикой, позволяющей производить необходимые измерения в момент встречи изделия с преградой, в момент, предшествующий взрыву заряда, то есть в моменты разрушения изделий.

В целях обеспечения надежной радиосвязи изделий с приемными пунктами были решены серьезные проблемы, обусловленные высокой скоростью встречи с преградой, большим квадратом рассеяния, высокими требованиями по механической стойкости при нагрузках, возникающих в процессе соударения с преградой и при взрыве.

Для проведения испытаний экспериментальных зарядов в составе специальных авиабомб использовались самолеты Ту-4, Ил-28, Ту-16, Ту-16А, Ту-95, которые дооборудовались (кроме штатных пультов управления Пу-2, Пу-2А, Пу-4) дополнительной контрольно-измерительной аппаратурой: устанавливалась контрольно-записывающая аппаратура для регистрации режима полета самолета-носителя, инерционных перегрузок, воздействующих на самолет при взрыве боеприпаса, возможной деформации отдельных узлов самолета, избыточного давления в ударной волне, длительности и величины светового импульса ядерного взрыва.

В зависимости от мощности испытываемых зарядов (при мощности более 2 мегатонн в тротиловом эквиваленте) на авиабомбах устанавливались парашютные системы, которые увеличивали время падения авиабомбы, обеспечивая удаление самолета-носителя от эпицентра взрыва на безопасное расстояние.

Учитывая существенное влияние высоты ядерного взрыва на эффективность поражения площадных целей, серьезное внимание в КБ-11, далее в КБ-2, уделялось разработке приборов неконтактного (воздушного) подрыва боеприпаса. На первых этапах проектирования в качестве приборов неконтактного подрыва было предложено использовать в одном из каналов радиодатчик, во втором – бародатчик.

Барометрические датчики воздушного подрыва (так называемые КР, критические регу-

ляторы) хорошо себя зарекомендовали в системе автоматики ядерных авиабомб, в которых предусматривалось устройство для отбора статического давления атмосферы (при движении бомбы по траектории после сброса). При этом погрешность срабатывания заряда на заданной высоте, хотя и превышала погрешность срабатывания от радиодатчика, обеспечивала необходимую эффективность взрыва. Возможности применения бародатчиков в боеголовках ракет оказались значительно сложнее.

Кроме бародатчиков большое внимание Ю. Б. Харитон и С. Г. Кочарянц уделяли разработке радиодатчиков. В КБ-2 с начала 1960-х гг. в отделе, возглавляемом Н. З. Трemasовым, разрабатывался радиодатчик РД1 на импульсном принципе действия. Разработанная в отделе принципиальная схема была передана на Пензенский приборостроительный завод, где под руководством главного конструктора Ю. Е. Седакова была разработана КД и изготовлена первая опытная партия РД1, а антенно-фидерные устройства для него были разработаны в отделе Н. И. Щанникова.

Проведенные одновременно испытания импульсного РД1 и частотного РД зарегистрировали более четкое срабатывание импульсного РД по сравнению с прибором с частотной модуляцией. Тем самым была экспериментально подтверждена целесообразность использования для ракетных комплексов импульсного радиодатчика.

К этому времени стала понятна необходимость сосредоточения в атомной отрасли разработки и производства радиодатчиков и радиотелеметрических систем. Постановлением от 23.02.1966 г. СКБ-326 было переведено из Минрадиопрома в Министерство среднего машиностроения. Решением руководства отрасли на базе СКБ-326 было создано КБ-3 – горьковский филиал КБ-11, получившее позже название «Горьковское конструкторско-технологическое бюро измерительных приборов» (ГКТБИП), впоследствии НИИИС. Директором был назначен Ю. Е. Седаков, главным конструктором Н. З. Трemasов. Научным руководителем в первые годы был главный конструктор КБ-11 С. Г. Кочарянц.

В 1959 г. главным управлением опытных конструкций МСМ в целях специализации было проведено перераспределение тематики между КБ-11, НИИ-1011 и КБ-25, в соответствии с которым в КБ-11 сосредоточивались работы по созданию боеприпаса для баллистических ракет среднего и дальнего действия.



В. Ф. Толубко

В соответствии с этим решением КБ-11 приступило к разработке боевых частей для ракетных комплексов с Р-7А (Р-9А), создававшихся в ОКБ-1 под руководством академика С. П. Королева, и комплексов Р-14 (Р-14У), Р-16 (Р-16У), создававшихся под руководством академика М. К. Янгеля.

Этот период характеризуется исключительно напряженным ритмом работы. Трудности были связаны в значительной степени с отсутствием информации о динамике движения головной части на пассивном участке траектории в плотных слоях атмосферы. Еще недостаточно были изучены вопросы уноса теплозащитного покрытия, температурного режима внутри головной части, механических нагрузок, линейных и вибрационных ускорений в местах установки приборов автоматики.

Знаменательно, что в этот же 1959 г. правительством СССР 17 декабря принимается решение о создании нового вида Вооруженных сил – Ракетных войск стратегического назначения. Главкомандующим РВ, заместителем МО СССР был назначен Главный маршал артиллерии М. И. Неделин, первым заместителем – генерал-лейтенант танковых войск В. Ф. Толубко.

К этому времени принят на вооружение ракетный комплекс с ракетой Р-12. Заступили на боевое дежурство с ракетами Р-5М ракетные

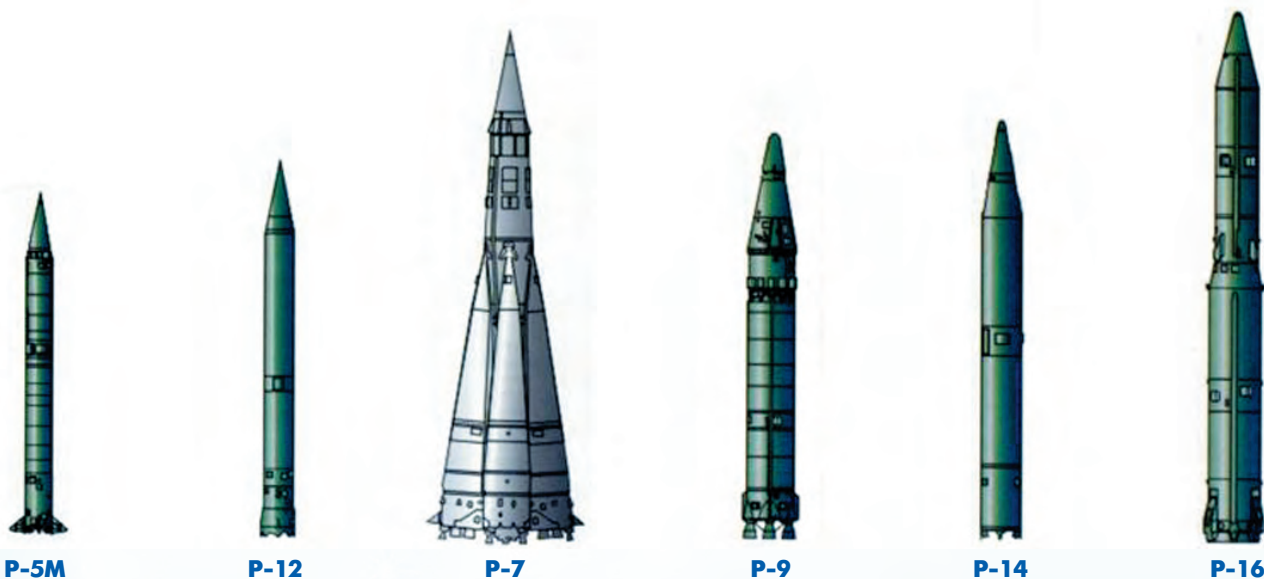
полки в двух районах дислокации. В декабре начаты летно-конструкторские испытания ракеты Р-7А на полигоне Байконур. В январе 1960 г. на боевое дежурство заступила первая боевая стартовая станция с ракетным комплексом Р-7А, а в июле она провела первые учебно-боевые пуски ракет. В мае заступили на боевое дежурство с ракетами Р-12Н ракетные полки в пяти районах дислокации. Начаты разработки шахтных ракетных комплексов Р-12, Р-14, Р-16 и Р-9.

Это был первый этап создания и постановки на боевое дежурство первого поколения отечественных боевых ракетных комплексов, оснащенных ядерными боеприпасами.

На рубеже 1970-х гг. была начата разработка боевых блоков, в системах управления которых использовались новые, повышенной точности комплексы командных приборов и бортовые цифровые вычислительные машины, управляющие работой всех составных частей ракеты, в том числе и автоматикой боеприпаса. Точность наведения у этих ракет заметно повысилась по сравнению с ракетами предыдущего поколения, соответственно, потребовалось уменьшать и баллистический коэффициент боевых блоков. Это приводило к увеличению скорости полета в плотных слоях атмосферы, в том числе на высотах, где требовалось осуществить воздушный



М. И. Неделин



подрыв. Эти обстоятельства создали существенные ограничения для использования бароприборов в системах боеприпасов для ракет третьего поколения (разработчики – МИТ, г. Москва, генеральный конструктор – академик А. Д. Надирадзе и КБ «Южное», г. Днепропетровск, генеральный конструктор – академик В. Ф. Уткин).

Важной особенностью системы управления этих ракет, в части, касающейся системы неконтактного подрыва, было решение осуществлять управление работой автоматики боеприпаса с помощью системы управления ракеты. Это решение оказало значительное влияние на облик всей системы автоматики, в том числе и на способ ввода в траекторные датчики уставок полетного задания.

К этому времени в КБ-11 под руководством И. А. Хаймовича были проведены исследования перспектив различных способов реализации воздушного подрыва боевых блоков, и было показано, что на блоках с баллистическим коэффициентом, в два-три раза меньшим, чем для предыдущего поколения, наиболее целесообразным является переход от бародатчиков к датчикам, основанным на однократном интегрировании ускорений.

Первые приборы, разработанные на принципе интегрирования ускорения, назывались автономными системами неконтактного подрыва (СНП). Начало работ в КБ-11 по этому направлению относится к 1962 г.

Действие приборов СНП было основано на принципе интегрирования линейных ускорений по продольной оси, возникающих при полете на нисходящем атмосферном участке траектории. В результате интегрирования ускорения представлялось возможным определить значение кажущейся скорости, что при известных условиях входа в атмосферу (скорости и углу входа) позволяло определить положение блоков относительно поверхности Земли через определенные моменты времени.

Приборы типа СНП были построены на основе акселерометра, электрохимического интегратора выходного тока акселерометра и магнитных усилителей, которые управляли электромагнитным исполнительным реле. Первые приборы СНП, разработанные группой специалистов под руководством В. А. Кренделева, прошли летные испытания в составе боевых блоков и показали удовлетворительные результаты по точности выдачи исполнительной команды над целью, но по различным причинам применения не получили. В числе таких причин было отсутствие электро-

химических интеграторов, полностью удовлетворяющих требованиям при работе в составе блоков по климатическим условиям, высокоинтенсивным механическим воздействиям, гарантированному сроку годности. Было принято решение искать новую приборную реализацию этой идеи.

Вторая половина 1970-х гг. характеризуется наиболее жестким противостоянием стратегических наступательных вооружений США и СССР. В этот период в США разрабатываются комплекс «Пискипер» (МХ) шахтного базирования и «Трайидент-2» (Д5) морского базирования, предназначенные, в первую очередь, для поражения шахтных пусковых установок отечественных ракетных комплексов.

В СССР разворачиваются работы по принципиально новым комплексам стационарного базирования, а также подвижного железнодорожного и грунтового базирования. Важнейшей их особенностью, существенно повлиявшей на систему неконтактного подрыва боеприпасов, явился переход к терминальному наведению, что стало возможным вследствие дальнейшего существенного повышения точности комплексов командных приборов систем управления, и, соответственно, к оперативному расчету полетных заданий на пуск. Существенно сокращалось время предстартовой подготовки разделяющихся головных частей (РГЧ), резко сократилось время ввода полетных заданий в систему автоматики.

При разработке системы автоматики большое внимание уделялось приборам, обеспечивающим безопасность боеприпасов при эксплуатации и боевом применении. Данная задача решалась путем применения так называемых «ступеней предохранения», развитие и совершенствование которых шло параллельно с разработкой критических датчиков.

Развитие ступеней предохранения происходило по пути использования следующих физических принципов: барометрического (типа СП), инерционного (типа ИВ), интегрирования внешнего ускорения по времени (типа ИДП).

Отработка конструкций боеприпасов потребовала проведения большого объема экспериментальных исследований в наземных условиях и летных испытаний на полигонах, для чего были созданы уникальные системы и установки, в частности, многоцелевой испытательный комплекс (МИК), включающий в себя более 20 стендов и установок, во многих случаях уникальных, предназначенный для решения широкого

круга задач экспериментальной отработки и испытаний боевого оснащения (БО) ракетного оружия нового поколения.

Одна из них – ракетно-катапультирующая установка (РКУ), позволяющая в процессе наземных испытаний с помощью специально разработанной бортовой радиотелеметрической системы измерить аэродинамические силы и моменты, а также давление, действующее в свободном полете на крупномасштабную или натурную модель. На ней можно также определять эффективность боевого оснащения ракет, отрабатывать взрыватели, системы управления БО и ракет, воспроизводить натурные условия встречи БО с различными преградами. По своей постановке испытания на ракетном треке приближены к летным испытаниям.

Для аэродинамических исследований, наряду с испытаниями на ракетном треке, используются эксперименты в аэробаллистическом тире. В практике испытаний на воздействие воздушной ударной волны широко используются ударные трубы. Расположенная в створе с ракетным треком ударная труба позволяет испытывать образцы ракетно-артиллерийского вооружения как установленные неподвижно внутри нее, так и катапультируемые в свободный полет с ракетного трека. В этом случае возможно сочетание последовательного воздействия на образец различных поражающих факторов до и после нагружения ударной волной.

Многокамерная взрывная установка, в которой поверхность объекта испытаний окружается несколькими взрывными камерами, позволяет при подрыве в них зарядов ВВ воспроизвести близкие к натуральным распределения давления на поверхность объекта, моделируя воздействие ударной волны с имитацией дифракционной фазы нагружения.

С помощью установки коротких ударных импульсов можно моделировать некоторые поражающие механические факторы, которые характеризуются нагружающим импульсом малой величины и малой длительности. Освоена методика проведения испытаний с использованием листовых зарядов пластического ВВ, создающих на поверхности объекта испытаний локальные механические импульсы.

Разработан ряд взрывных метательных устройств, позволяющих при относительной простоте конструкции и невысокой стоимости обеспечивать метание компактных элементов со скоростями близкими и превышающими первую космическую.

Отработка средств защиты БО от несанкционированных воздействий, а также стойкости к воздействию высокоскоростных осколков, осуществляется на стенде осколочно-стрелковых (пулеосколочных) испытаний. Стенд оснащен всеми видами отечественного стрелкового оружия, пороховыми баллистическими установками и легкогазовыми установками.

Отработка стойкости БО ракетного оружия и других объектов при аварийном падении с высоты до 15 м на различные виды преград (бетон, грунт, снег, вода и т. д.) проводится на стенде бросковых испытаний. Испытаниям подвергаются как отдельные образцы изделий, так и изделия, находящиеся в контейнерах. Стенд пожарных испытаний МИК обеспечивает все требуемые режимы теплового нагружения боевого снаряжения.

Горизонтальный стенд огневых испытаний предназначен для отработки новых и проведения контрольных испытаний ракетных двигателей. Стенд позволяет проводить испытания двигателей с различной тягой, в том числе в составе ракетного поезда. На стенде также проводятся испытания образцов БО и других объектов на воздействия высокоскоростных и высокотемпературных газовых потоков.

Комплекс оптико-физических измерений МИК создан для обеспечения оптических и рентгенографических измерений при проведении испытаний. Имеет в своем составе стационарные и передвижные средства регистрации. Управление средствами регистрации, входящими в состав комплекса, производится от ПЭВМ с учетом фактических значений управляющего параметра. Важно подчеркнуть, что все средства измерений построены на базе унифицированной аппаратуры, связаны в общую систему и управляются с единого пульта.

Комплекс электрических измерений предназначен для обеспечения измерений, подтверждающих режим проведения испытаний, а также для определения реакции конструкции на внешние воздействия. Измерительные средства МИК включают в себя: измерительную систему аналоговых сигналов; многоканальную цифровую хронографическую систему; систему контроля параметров автоматики; систему регистрации аналоговых сигналов на базе высокочастотного канала; радиотелеметрические системы; систему синхронизации и временной привязки измерений.

В целом, созданный в КБ-2 комплекс установок дает возможность имитировать практически

весь спектр вероятных воздействий на спецбоеприпасы в процессе их хранения, эксплуатации и применения, в том числе виброударные нагрузки и климатические воздействия (грозовые разряды, электромагнитные поля и т. д.).

Основные этапы развития наземных стратегических ракетных комплексов и их ядерного боевого оснащения были связаны:

– во-первых, с переходом к шахтному базированию. Впервые шахтный способ базирования был реализован в 1963 г. для РК с ракетой Р-16У. Для этого комплекса во ВНИИЭФ была создана соответствующая головная часть (ГЧ);

– во-вторых, с созданием тяжелых МБР. Первая тяжелая МБР была создана в 1967 г. Для этой МБР была разработана самая мощная из созданных ВНИИЭФ головная часть;

– в-третьих, с созданием твердотопливных МБР. Первая твердотопливная МБР, оснащенная головной частью разработки ВНИИЭФ, была создана в 1968 г.;

– в-четвертых, с оснащением МБР разделяющимися головными частями. Это была контрмера против начатой в США в 1960-х гг. разработки системы ПРО Sefeguard с противоракетами, оснащенными ядерными зарядами. ВНИИЭФ разработал боеприпас для МБР, а также боеприпасы для РГЧ индивидуального наведения в 1975 г.;

– в-пятых, с созданием мобильных пусковых установок. Первый мобильный ракетный комплекс «Темп-2С», оснащенный головной частью разработки ВНИИЭФ был создан в 1974 г.;

– в-шестых, с повышением точности доставки боевых блоков. Во второй половине 1970-х гг. США приступили к разработке нового поколения ракет – МХ и Trident. Перед ними ставилась задача поражения высокопрочных объектов типа шахтных пусковых установок, пунктов системы боевого управления. Это была новая попытка достичь превосходства в вооружениях за счет качественного совершенствования ракетно-ядерных технологий. Со стороны Советского Союза были незамедлительно приняты ответные адекватные меры.

Повышение точности для тяжелой МБР реализовано в 1988 г. Для нее ВНИИЭФ создал соответствующий боеприпас. Нельзя не отметить головную часть разработки ВНИИЭФ, благодаря которой ракета комплекса «Воевода» получила грозное название «Сатана».

За годы существования КБ-2 разработало боеприпасы для различных видов Вооруженных сил, которые стали основой ядерного щита

страны. Наиболее известные из них – головная часть для межконтинентальной баллистической ракеты Р-7А, боевое оснащение для межконтинентальной баллистической ракеты с разделяющимися головными частями (по западной классификации SS-20).

За период с 2000 г. усовершенствованы боеприпасы для трех стратегических комплексов, что позволило пополнить группировку стратегических сил новым высокоэффективным комплексом. Продлить сроки эксплуатации самого грозного стратегического комплекса «Воевода», подвижного грунтового ракетного комплекса. Усовершенствовано боевое оснащение ряда комплексов тактического ядерного оружия. Ведутся работы по совершенствованию боевого оснащения для ряда перспективных стратегических ракетных комплексов, а также нестратегического оружия.

В настоящее время КБ-2, совместно с другими подразделениями института, работает над совершенствованием изделий, которые обладают новыми качествами по безопасности эксплуатации и боевого применения, а также повышенной эффективностью. Изделия оснащаются высокоинтеллектуальной автоматикой, создаваемой на основе компьютерной техники и различных датчиков, позволяющих с высокой точностью определять пространственное положение изделий в полете.

В КБ-2 большое внимание уделяется внедрению и развитию современных высокоэффективных технологий разработки и изготовления боеприпасов и их составных частей, в том числе компьютерных технологий проектирования и расчетного анализа. Широкое использование в подразделениях КБ-2 указанных технологий позволяет обеспечивать всестороннюю, глубокую и качественную проработку конструкций на этапах проектирования и, следовательно, выбор наиболее оптимальных технических решений.

Результаты испытаний показали высокую степень доверия к используемым расчетным методикам, по которым проводилось определение конструктивного облика ракет, их аэродинамических характеристик, конструкции пусковой установки и других составных частей комплекса, разработка трехмерных моделей, выпуск КД, а также расчетная оценка поведения конструкций в условиях комплексного воздействия механических нагрузок высокого уровня.

Крупные результаты в конверсионной деятельности связаны с созданием и сертифика-

цией контейнеров для перевозки воздушным транспортом свежего и отработанного топлива для АЭС.

Направления развития КБ-2 определяются основными направлениями развития вооружения, военной и специальной техники Госкорпорации «Росатом» на период до 2025 г., которые представляют собой систему основополагающих взглядов на поддержание и развитие оружейного комплекса РФ, в том числе соответствующих базовых и критических военных технологий, его научно-исследовательского, экспериментально-испытательного и производственного потенциалов, создание на основе технологий неядерного оружия повышенной эффективности.

Эти направления являются основой для планирования поисковых исследований, проведения НИР и ОКР. Реализация перечисленных направлений совершенствования обеспечивается за счет разработки (глубокой модернизации) боеприпасов и их систем автоматики.

Общими тенденциями для новых разработок являются: усложнение решаемых задач (повышение функциональности систем), повышение требований к надежности и безопасности при неизменно жестких требованиях к массе и габаритам изделий. Кроме того, в современных условиях разработки новых систем вооружения и их составных частей проводятся при отсутствии натурных испытаний и в условиях сокращения объемов летной отработки.

Основными направлениями развития приборостроительной базы являются модернизация и оснащение:

- проектно-конструкторской базы современными технологиями моделирования, расчета и проектирования приборов;
- производственно-технологической базы современными технологиями приборостроения, включая аддитивные и технологии микросистемотехники и нанотехнологии, и информационно-вычислительными технологиями;
- научно-исследовательской и экспериментально-испытательной базы разработки приборов современным лабораторным, стендовым, испытательным оборудованием и информационно-вычислительными технологиями.

Необходимо отметить, что результаты проводимого КБ-2 комплекса работ, а также полученные в результате реконструкции и технического перевооружения широкие возможности уникальной экспериментальной и производственной базы несомненно обеспечат поддержание эффективности, надежности и безопасности ядерного арсенала.



Имеющийся в РФЯЦ-ВНИИЭФ научно-технический задел в области создания нового боевого оснащения и плодотворное взаимодействие с разработчиками комплексов, ведущими предприятиями ОПК, организациями МО обеспечивают решение национальной задачи по ядерному сдерживанию в современных условиях на требуемом уровне.

В составе коллектива КБ-2 трудятся 5 докторов наук и 41 кандидат наук. Специализированный докторский совет обеспечивает защиту диссертаций по трем специальностям.

Трудовые заслуги многих работников отмечены государственными наградами: начиная с 1959 г. 127 человек стали лауреатами различных премий, 38 были удостоены почетных званий, 647 награждены орденами и медалями Советского Союза и Российской Федерации.

Накопленный научно-технический, технологический и производственный потенциал КБ-2 позволяет сегодня обеспечивать важнейшую оборонную задачу России – создание и поддержание в боеготовом состоянии с требуемой надежностью и безопасностью боевого оснащения комплексов ядерного оружия, обеспечивающих ядерное сдерживание как на глобальном, так и региональном уровнях.

МОРОЗОВ Владимир Николаевич –
главный конструктор РФЯЦ-ВНИИЭФ –
начальник КБ-2, доктор технических наук
КОЛЕСНИКОВ Сергей Васильевич –
заместитель главного конструктора
РФЯЦ-ВНИИЭФ, доктор технических наук

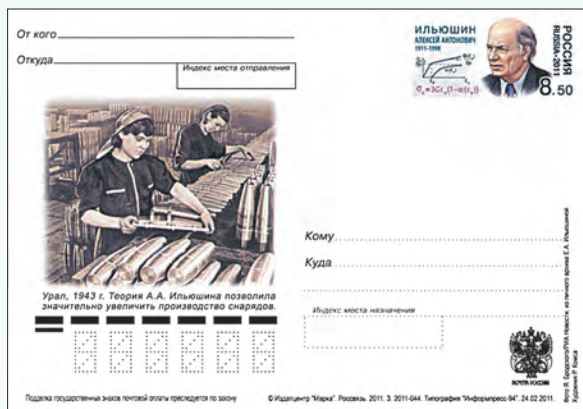
Малоизвестная страница истории Атомного проекта

А. А. ДЕМИДОВ, М. А. ВЛАСОВА, А. Л. МИХАЙЛОВ

Работая над книгой о первом начальнике сектора 3 Василии Константиновиче Боболеве, довелось ознакомиться с авторефератом его докторской диссертации. Рецензентом у него был член-корреспондент АН СССР А. А. Ильюшин. И вот, зайдя как-то на Саровский почтамт, увидели открытку с оригинальной маркой, посвященной Ильюшину! «А не тот ли это Ильюшин, что был рецензентом у нашего Боболева?» – мелькнула мысль. Мы не ошиблись. Карточка действительно посвящена Алексею Антоновичу Ильюшину!

В краткой биографии и описании его деятельности в каталоге Издатцентра «Марка», к сожалению, нет ни слова об участии А. А. Ильюшина в Атомном проекте СССР, о его работе в КБ-11. А ведь он был заместителем Ю. Б. Харитона. Статья об Ильюшине дана в биографическом справочнике «Создатели ядерного оружия» (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2004. Т. 1. С. 357). Член-корреспондент РАН, действительный член РАРАН, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Сталинской премии А. А. Ильюшин родился в г. Казани, где окончил среднюю школу и поступил на физико-математический факультет Казанского университета. В 1929 г. переводится на физико-математический факультет Московского университета; после его окончания в 1934 г. (специальность «Аэродинамика») оставлен в аспирантуре Института механики МГУ и тогда же назначен заведующим лабораторией сопротивления материалов, которая вскоре превратилась в лабораторию сложных динамических процессов. Алексей Антонович занимался созданием первого линейного механического ускорителя в виде пневматического скоростного копра. На этом ускорителе имитировали падение на землю авиационных бомб и добивались реальных высоких давлений и напряжений, возникающих при их воздействии.

В январе 1937 г. он защищает кандидатскую диссертацию, а в октябре 1938 г. – докторскую, по вязкопластическим течениям. С 1938 г. А. А. Ильюшин – профессор, с 1942 г. до последних дней своей жизни – заведующий кафедрой теории упругости МГУ. В годы Великой Отечественной войны он был привлечен к работе в оборонной промышленности. В начале войны обнаружился «снарядный голод». Нужно было увеличить производство снарядов и решением



этой задачи пришлось заниматься А. А. Ильюшину. В ноябре 1941 г. он начал исследовать развитие деформационных подходов в теории пластичности. За два месяца удалось создать фундамент теории малых деформаций и доказать, что простейшая деформационная теория пластичности физически достоверна для простых нагружений. Был создан так называемый «метод упругих решений конкретных задач».

А. А. Ильюшин в своих научных изысканиях сделал поворот от теории пластического течения к созданию теории малых упругопластических деформаций, точнее, к физически достоверной теории пластичности. Новая теория давала в расчетах на прочность надежные числовые значения основных параметров изделий, что позволило существенно упростить технологию изготовления артиллерийских снарядов. В 1942 г. новые методы расчетов, проектирования, технологии производства и приемки стали законом. Отменили термообработку, перешли к элементарной штамповке снарядов, отменили шлифовку и т. д., что решило задачу обеспечения фронта снарядами. Обобщает эти работы монография А. А. Ильюшина «Пластичность», которая впоследствии была переведена за рубежом. В 1943 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1947 г. – действительным членом Академии артиллерийских наук.

С 1947 по 1950 г. А. А. Ильюшин работал научным руководителем отдела, заместителем директора по научной работе НИИ-88 в подмосковном Калининграде. По примеру ЦАГИ в НИИ-88 началось создание теоретико-экспериментальных отделов динамики прочности и аэродинамики. В том же году А. А. Ильюшин сформулировал и



НИИ-88. Вибрационные испытания ракеты Р-2

доказал закон плоских сечений в аэродинамике больших сверхзвуковых скоростей. Он позволил пространственную задачу представить как плоскую и решать ее более простыми и доступными методами.

Весной 1950 г. Алексей Антонович ушел из НИИ-88 в связи с тем, что был избран ректором Ленинградского университета. В 1950-е гг. своими работами А. А. Ильюшин внес вклад принципиальной значимости в теорию пластичности по исследованию упругопластических свойств тел в производственных процессах сложного нагружения. Эти исследования составили ядро общей теории пластичности – теории упругопластических процессов, были обобщены в фундаментальной монографии А. А. Ильюшина «Пластичность» (1963 г.), получили развитие в его последующих работах.

Установленные им общие законы связи напряжений и деформаций в сложных процессах: постулат макроскопической определенности, постулат изотропии, принцип запаздывания, постулат пластичности – определили принципиально новый подход к построению определяющих соотношений для процессов различных классов. Развита на этой основе теория экспериментов в механике деформируемого твердого тела привела к созданию в 1950-е гг. под его руководством нового класса испытательных машин СН, что вывело нашу страну на ведущее место в мире по гибкости программ испытаний и научной содержательности эксперимента. Работы А. А. Ильюшина по общей теории пластичности внесли фундаментальный вклад в теорию определяющих соотношений механики сплошной среды.



В 1952 и 1953 г. А. А. Ильюшин работал в КБ-11 заместителем главного конструктора (Ю. Б. Харитона). Совместно с Н. Н. Боголюбовым и М. А. Лаврентьевым он проводил теоретико-экспериментальные работы по созданию атомного артиллерийского снаряда. Накопленный опыт по расчету и экспериментам в области малых упругопластических деформаций он использовал в расчетах атомного снаряда, это позволило снизить вес, обеспечить безопасность от взрыва при экспериментах. Эксперименты подтвердили возможность создания атомного снаряда, и он был разработан.

В 1954 г. А. А. Ильюшина избрали директором Института механики АН СССР. С 1964 г. в течение 30 лет он был научным руководителем и консультантом экспериментально-теоретических исследований в области прочности зарядов твердотопливных ракетных двигателей. В 1960-е гг. А. А. Ильюшин снова оказался на своей кафедре МГУ. Им выполнено много конкретных исследований в помощь различным отраслям промышленности, в частности, танкостроительной, атомной, ракетно-космической, он консультировал работы по обеспечению прочности коллекторов парогенераторов атомных электростанций, позволившие найти пути повышения их ресурса.

А. А. Ильюшин – выдающийся русский ученый, идеи и научные открытия которого внесли существенный вклад в развитие механики деформируемых сред. Это один из крупнейших механиков XX века. А. А. Ильюшин – крупный организатор науки. Он был бессменным председателем Совета АН СССР по проблемам прочности и пластичности, сотрудничал в редакциях журналов. Руководил работой научно-исследовательских институтов, много лет работал членом Президиума ВАК СССР, членом национального комитета СССР по теоретической и прикладной механике, членом Генеральной Ассамблеи Международного союза по теоретической и прикладной механике.

За заслуги в развитии науки и техники А. А. Ильюшин награжден:

- орденом Ленина (1971, 1986 г.);
- орденом Октябрьской Революции (1981 г.);
- орденом Трудового Красного Знамени (1944, 1945, 1953, 1975 г.);
- орденом «Знак Почета» (1940, 1961 г.);
- орденом Красной Звезды (1944 г.);
- медалью «За оборону Москвы» (1944 г.);

Удостоен звания лауреата Сталинской премии (1948 г.), звания «Заслуженный профессор Московского университета» (1994 г.). Лауреат премии им. М. В. Ломоносова МГУ (1995 г.).



А. А. Ильюшин – лауреат Сталинской премии (1948 г.)

Большой материал размещен об А. А. Ильюшине в Википедии, где приводятся следующие интересные эпизоды. В период ректорства в ЛГУ А. А. Ильюшину пришлось работать в сложной обстановке: был расстрелян его предшественник А. А. Вознесенский, в университете продолжались возглавляемые зав. кафедрой дарвинизма ЛГУ И. И. Презентом гонения на биологические

науки. А. А. Ильюшину удалось так направить ход научной работы (он предложил И. И. Презенту оформить письменно план его научной работы на будущий год), что через год тот был вынужден подать заявление об уходе по собственному желанию (иначе ему предстояло разбирательство, как не выполнившему план научной работы). Уволенные под нажимом И. И. Презента сотрудники ЛГУ были восстановлены на работе (по свидетельству ученика А. А. Ильюшина В. Н. Кузнецова, после этого портрет Ильюшина висел у биологов «вместо Дарвина»).

Когда на философском факультете группа молодых сотрудников обвинила руководство в троцкизме, Алексей Антонович организовал дискуссию с приглашением секретаря горкома партии. Выяснилось, что обвинители слабо представляли себе, что такое троцкизм и в своих выступлениях повторили некоторые тезисы троцкизма.

Очень интересная статья А. Н. Богданова (с.н.с. Института механики МГУ) «Динамика Ильюшина: параболоид чудес, снарядное избытие, долгоживущие ракеты» опубликована в газете «Московский университет», № 4, 2008 г. Приведем отрывок, касающийся работы на нашем «объекте». В 1951–1959 гг. А. А. Ильюшин избирался депутатом Верховного Совета РСФСР (в 1951–1956 гг. – зам. председателя Совета). Встреча с Б. Л. Ванниковым на одной из сессий Совета весной 1952 г. окончилась подписанным Сталиным назначением А. А. Ильюшина в Арзамас-16 заместителем Ю. Б. Харитона с поручением сформировать коллектив, дублирующий и контролирующий основных исполнителей Атомного проекта (он привлек Н. Н. Боголюбова и М. А. Лаврентьева). За время этой работы А. А. Ильюшин три раза встречался с Л. П. Берией. Тот глубоко вникал в проблемы и

был непреклонен: сделаете в срок – «всем будут награды», не сделаете – «будет всем тюрьма». Сроки выполнялись, а, как говаривал Алексей Антонович, его «миновали и тюрьма, и награды (не считая мелочей)». В 1953 г., после кончины Сталина и смещения Берии, А. А. Ильюшин «с легким сердцем» (он полагал, что такие же чувства испытывали и другие) прекратил работу над атомными бомбами.

Несколько наивно звучит, но очень познавательно насчет версии о поручении «сформировать коллектив, дублирующий и контролирующий основных исполнителей Атомного проекта». В конечном итоге с поставленной, якобы перед Ильюшиным, задачей блестяще справились сами «основные исполнители Атомного проекта».

В «Истории создания ядерного оружия в СССР, 1946–1953 годы», Саров (Арзамас-16), 2001 г., т. 8, есть небольшая биографическая статья об А. А. Ильюшине со ссылкой на личное дело (ЛД) в архиве ВНИИЭФ. Имея ЛД, можно установить, в каком коттедже он жил в Сарове в 1952–1953 гг., в каком здании работал.

После опубликования материалов об А. А. Ильюшине в декабре 2014 г. на сайтах ИФВ и «Саровский краевед» (СК), появились дополнительные сведения о нем.

1. Е. А. Ильюшина (дочь ученого) «Научная биография А. А. Ильюшина по архивным источникам». В марте 1952 г. на очередном заседании Ученого совета ЛГУ Алексею Антоновичу был вручен подписанный И. Сталиным приказ о назначении в Арзамас-16 заместителем главного конструктора Ю. Б. Харитона. Согласно документам, А. А. Ильюшин работал по ядерной оборонной тематике непосредственно на «объекте» – таково было неофициальное название КБ-11. В списке его трудов значится: серия работ по гидродинамике, кумуляции и распространению взрыва, спец. отчеты МСМ 1952–1953 гг. Для КБ-11 начало 1950-х гг. было временем активного роста, преобразования в мощный научно-конструкторский и производственный центр. Постановка «задачи» о разработке ядерного заряда для снарядов в СССР безусловно связана с тем, что в это время в США уже велась разработка ядерного артиллерийского заряда. 25 мая 1953 г. было проведено первое полигонное испытание ядерного заряда МК-9 диаметром 280 мм, и к этому времени было изготовлено первое специальное орудие. Оно весило 93 т, общая его с транспортом длина составляла 79 футов, дальность стрельбы была примерно 14 миль (В. П. Жогин,

один из разработчиков артснаряда, «Наука в Сибири», № 44–45, 17.11.2000).

2. А. А. Ильюшин о работе в КБ-11 на Саратовской земле. Создание научно-исследовательского института, особенно такого, как НИИ-88, – дело непростое и очень ответственное. Меня захлестывало множество организационных вопросов, но это была уже не моя профессия. Весной 1950 г. я ушел из института и стал ректором Ленинградского университета, а через два года меня назначили заместителем Ю. Б. Харитона в Арзамас-16. Там не было суматохи и организационных хлопот, можно было спокойно заняться наукой. Мы с Н. Н. Боголюбовым и М. А. Лаврентьевым проводили теоретико-экспериментальные работы. После напряженного дня отдыхали – ходили в театр, в гости друг к другу. Боголюбов был великий знаток и мастер приготовления кофе, Лаврентьев подбирал коньяки, ну а я готовил всевозможные шашлыки.

Когда решался вопрос о новом изделии – самой мощной бомбе, А. Д. Сахаров выступил за термоядерный вариант, я определенно и активно поддерживал его. Ю. Б. Харитон и его сторонники возражали, считая, что необходимой мощности взрыва можно достичь, если увеличить уже существующую атомную бомбу. Но это было неперспективно. Победил вариант Сахарова». (Очевидно, здесь идет речь о «слойке Сахарова» – *прим. авт.*) В «Динамике» Алексей Антонович писал: «...1953 год. Сталин скончался, Берия смещен. Я с легким сердцем улетаю в Москву, где встречаюсь с Н. С. Хрущёвым, который рекомендует мне продолжить работу в Арзамасе. (Моя встреча – полный один час tet-a-tet – с Никитой Сергеевичем Хрущёвым, 1954 г.). Это был глубоко озабоченный, сосредоточенный, серьезный человек. Вам надо продолжить». Я отказался, и без последствий сталинско-цековского типа, как отказался от директорства в АН, от зав. отделом науки ЦК, но не отказался от задания ГКО по снарядному голоду в 1941–1942 гг., не отказался от НИИ-88, не отказался от сталинско-бериевского КБ ПГУ, от «лихого ректорства» Лен. гос. университета – много, где по «острию ножа» было ходить».

3. А. Д. Сахаров «Воспоминания». На заседании у Берии решался вопрос о направлении на «объект» «для усиления» академика М. А. Лаврентьева и члена-корреспондента А. А. Ильюшина. Когда была названа фамилия Ильюшина, Берия удовлетворенно кивнул – очевидно, она уже была ему известна. Как потом мне сказал К. И. Щёлкин (заместитель Харитона, опытный в организационных делах человек), Лаврентьев



А. А. Ильюшин и М. А. Лаврентьев

и Ильюшин были направлены на «объект» в качестве «резервного руководства» – в случае неудачи испытания они должны были сменить нас немедленно, а в случае удаче – немного погодя и не всех. Лаврентьев старался держаться в тени и вскоре уехал. Что же касается Ильюшина, то он вел себя иначе. Он вызвал нескольких своих сотрудников (в отличие от сотрудников «объекта» – с докторскими степенями, это подчеркивалось) и организовал нечто вроде «бюро опасностей». На каждом заседании Ильюшин выступал с сообщением, из которого следовало, что обнаружена еще одна неувязка, допущенная руководством «объекта», которая неизбежно приведет к провалу. Ильюшину нельзя было отказать в остроумии и квалификации, и все же, как правило, он делал из мухи слона (но в случае неудачи испытания укус каждой из этих мух был бы смертелен – он мог бы сослаться на то, что «предупреждал»). На одном заседании Ученого совета, возмущенный его демагогией, я сказал, невольно несколько по-хамски:

– Ильюшин доказывает нам нечто. Но если подойти с умом, то все будет иначе.

Потом Зельдович любил говорить:

– Будем действовать по принципу Сахарова, т. е. с умом.

Ильюшин жил совсем один в предоставленном ему коттедже с огромной собакой. По вечерам он гулял с ней по безлюдным улицам нашего городка. После снятия Берии звезда Ильюшина закатилась. Щёлкин (и Харитон?) не простили ему пережитого за последний год. Он даже не был допущен к поездке на испытания, что для человека его ранга было большой дискриминацией.

В этих строках, по нашему мнению, А. Д. Сахаров эмоционален и не вполне точен. Лаврентьев уехал не «вскоре», а уже после Ильюшина, когда первый ядерный заряд для артиллерийского снаряда (РДС-41) был разработан и под-

готовлен к испытаниям на полигоне в Семипалатинске. И Ильюшин был вполне в контакте с другими разработчиками ядерного снаряда. Хотя и жил, возможно, в коттедже один. Не у него одного в те годы семья оставалась за пределами «объекта». В 1956 г. РДС-41 был успешно испытан, и за эту разработку руководители работ получили первую в КБ-11 Ленинскую премию, в том числе М. А. Лаврентьев и В. М. Некруткин – начальник сектора 11, специально созданного для разработки ядерных зарядов для артиллерийских систем и расформированного после создания РДС-41. В конструкции заряда была реализована не одна оригинальная идея из нашедших потом воплощение в других разработках ВНИИЭФ и ВНИИТФ. В участии А. А. Ильюшина при испытаниях РДС-41 не было нужды, да его уже и не было к этому времени в КБ-11, как и М. А. Лаврентьева.

Некоторые страницы истории разработки первого ядерного заряда для артиллерии описаны в статье В. М. Ботева «Немецкая атомная бомба. История и реальность» (журнал «Атом», № 4 (80), 2018 г.) и в уже упоминавшейся статье В. П. Жогина, одного из разработчиков РДС-41. Вообще история сектора 11, существовавшего около 3-х лет, и история создания РДС-41 как-то выпадают из большинства мемуарных публикаций. Может быть потому, что научные руководители этой разработки: М. А. Лаврентьев, А. А. Ильюшин, Л. П. Овсянников, Д. В. Ширков и др. сразу по завершению работ уехали с «объекта», снарядную тематику в КБ-11 закрыли, сектор 11 расформировали, разработчики РДС-41 (газодинамики, конструкторы) вернулись в родные сектора.

В воспоминаниях Ю. Б. Харитона направление в КБ-11 М. А. Лаврентьева и других было вызвано его (Ю.Б.) просьбой, так как он не считал себя специалистом в снарядном деле, а М. А. Лаврентьев и А. А. Ильюшин как раз были учеными, получившими во время войны награды за снарядную тематику. В частности, работы А. А. Ильюшина позволили во время войны резко увеличить объем выпуска снарядов отечественной промышленностью. Утверждается (Википедия), что один из руководителей промышленности боеприпасов генерал Н. Д. Иванов в середине 1942 г. сказал А. А. Ильюшину: «Вы никогда не поймете, что сделали для войны и Победы».

Уместно подчеркнуть, что работы над РДС-41, завершившиеся созданием первого отечественного ядерного снаряда, имели сопутствующие важнейшие результаты, к которым можно отнести:

– во-первых, формирование при решении чрезвычайно сложной инженерной задачи под руководством А. А. Ильюшина таких крупных конструкторов ядерных зарядов, как В. П. Жогин, П. Д. Ишков, В. К. Родников;

– во-вторых, изобретение, включая отработку принципиально новой универсальной системы инициирования взрывных составов, позволившей сократить габариты изделий, и имевшей в последующем фундаментальное значение при конструировании зарядов.

Скончался Алексей Антонович 31 мая 1998 г. и похоронен на старой территории Новодевичьего кладбища в Москве.

В августе 2015 г. на контакт с нами вышла дочь А. А. Ильюшина – Елена Алексеевна, с.н.с., кандидат наук, сотрудница мехмата МГУ. Руководство ИФВ организовало Елене Алексеевне проезд в Саров. Она приняла участие в работе межотраслевого тематического семинара памяти В. К. Боболева (22–23 октября 2015 г.) и выступила с небольшим информационным сообщением о своем отце – Алексее Антоновиче Ильюшине. Мы получили доступ к личному делу А. А. Ильюшина, а Елена Алексеевна сделала из него важные выписки. Мы также обговорили с Еленой Алексеевной Ильюшиной условия работы над книгой. И Елена Алексеевна подготовила рукопись книги об отце для публикации.

В Санкт-Петербурге, на Васильевском острове, на стенах жилых домов, близлежащих к зданию Академии наук, находится множество мемориальных досок с именами живших там академиков – видных деятелей отечественной науки и культуры. Эти доски, кроме мемориального значения, безусловно, служат и целям воспитания у граждан России патриотизма и чувства гордости за наших предков. Неплохо бы и нам в Сарове, где 50–70 лет назад работали выдающиеся ученые, конструкторы, производственники, закладывавшие основы ядерного щита страны, к которым, несомненно, относится и А. А. Ильюшин, подобным же образом воздать дань уважения.

ДЕМИДОВ Алексей Александрович –

старший научный сотрудник ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ

ВЛАСОВА Марина Александровна –

старший научный сотрудник ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ

МИХАЙЛОВ Анатолий Леонидович –

заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ,

лауреат Государственной премии, премий

Правительства РФ, премии РАН им. А. А. Бочвара,

заслуженный деятель науки РФ

Школа академика Н. Н. Семёнова.

Кафедра № 4 МИФИ

А. Л. МИХАЙЛОВ

*Иные скажут: «Это – блеф!»,
Но разъясим для пессимистов:
Газодинамика ВНИИЭФ
Всегда держалась на МИФИстах.*

Олег Свирский,
выпускник кафедры № 4 МИФИ 1976 г.,
главный специалист ИФВ ВНИИЭФ,
лауреат премии Правительства РФ



А. Л. Михайлов

В Атомном проекте СССР роль научной школы Нобелевского лауреата, основателя и бессменного в течение более полувека директора Института химической физики (ныне ИХФ РАН) Н. Н. Семёнова неопределима и хорошо известна специалистам. И тем не менее в многостраничной (более 700 стр.) биографической энциклопедии «Атомное оружие России», выпущенной в 2012 г. издательским домом «Столичная энциклопедия», мы не найдем биографических данных ни самого Н. Н. Семёнова, ни его многочисленных коллег, внесших значительный, иногда определяющий, вклад в создание ядерно-оружейной науки и техники и решение жизненно важной для страны проблемы, определившей, помимо конкретных «оружейных» задач, развитие точных наук и рождение новых технологий и отраслей промышленности в стране, по крайней мере, на полстолетия вперед. Этот «ляпсус», естественно, вызывает недоумение.

В 2019 г. сотрудники Института химфизики выпустили книгу воспоминаний (авт.-сост. В. В. Адушкин, А. А. Сулимов «Вклад ученых Химфизики в советский Атомный проект», М.: Торус Пресс, 2019, 480 стр.). В ней представлены основные ученые Института химической физики, стоявшие у истоков создания отечественного ядерного оружия. Книга включает как известные, так и новые материалы о создании и

испытаниях ядерного оружия, это – статьи и воспоминания непосредственных участников Атомного проекта. Оба автора – выпускники кафедры № 4.

В ноябре 2019 г. в РФЯЦ-ВНИИЭФ состоится межотраслевой семинар «Физика взрыва – 2019». Тема семинара «Школа Н. Н. Семёнова в Атомном проекте СССР». На семинаре планируется и презентация данной книги.

Сегодня, в год 70-летия испытания первой отечественной бомбы РДС-1, будет нелишне хотя бы бегло перечислить основные, по нашему мнению, составляющие вклада школы Н. Н. Семёнова в Атомный проект, не претендуя, впрочем, на полноту.



Н. Н. Семёнов в рабочем кабинете



М. А. Садовский

1. Им и его коллегами (Ю. Б. Харитон, З. Ф. Вальта) в 1920-х – начале 1930-х гг. было открыто явление и разработана теория разветвляющихся цепных химических реакций (монография Н. Н. Семёнова «Химическая кинетика и цепные реакции», 1934 г.; Нобелевская премия, 1956 г.), основы которой послужили впоследствии базой для теории цепных ядерных реакций.

2. В ИХФ была разработана теория теплового химического взрыва (Д. А. Франк-Каменецкий), сыгравшая определенную роль в теории термоядерного взрыва. (В научных отчетах КБ-11 (ныне РФЯЦ-ВНИИЭФ) 1950-х гг. по этому вопросу иногда использовался термин «тепловой взрыв»).

3. В ИХФ в 1930–1940-х гг. были проведены обстоятельные экспериментальные исследования (лаборатории Ю. Б. Харитона и К. И. Щёлкина), и доведена до «классического» состояния теоретическая модель детонации (Я. Б. Зельдович, А. С. Компанец), ныне называемая моделью Зельдовича, фон Неймана, Дёринга (ЗНД-модель).

4. Теоретический отдел ИХФ (Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий, А. С. Компанец, С. П. Дьяков, Н. А. Дмитриев) играл ведущую роль в разработке теории ядерного взрыва вплоть до момента «географического» перебазирования его ключевых сотрудников во главе с Я. Б. Зельдовичем в КБ-11.

5. М. А. Садовский, заместитель Н. Н. Семёнова в ИХФ, был научным руководителем Семи-



А. Я. Апин



А. Ф. Беляев

палатинского полигона в период его создания и первых испытаний.

6. Аппаратуру для физических измерений на ядерных полигонах и для газодинамических исследований на внутренних полигонах и в лабораториях организаций МСМ разрабатывал по ТЗ КБ-11 спецсектор ИХФ. (Впоследствии этот сектор вошел в состав Института физики Земли АН СССР, ныне Институт динамики геосфер РАН).

7. Сотрудники ИХФ совместно с КБ-11, другими институтами АН СССР и войсковыми частями выполняли физические измерения параметров воздушных взрывов на обоих полигонах СССР, Семипалатинском и Новоземельском.

8. В самом КБ-11 газодинамическими исследованиями (под газодинамикой понимается вся совокупность вопросов физики взрыва – неустановившихся течений сплошной среды и ее экстремальных состояний), отработкой зарядов и натурными полномасштабными испытаниями до 1955 г. руководили прямые ученики и коллеги Н. Н. Семёнова по ИХФ: К. И. Щёлкин – первый заместитель Ю. Б. Харитона и В. К. Боболев – начальник газодинамического сектора (ныне ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ).

9. Разработкой ВВ для РДС-1 и изотопного нейтронного запала (НЗ) ударноволнового воздействия руководили также ученики и коллеги Н. Н. Семёнова по ИХФ: А. Ф. Беляев и А. Я. Апин соответственно. Оба вскоре уехали с «объекта». Первый – в 1948 г. по состоянию здоровья, второй – в 1951 г. после испытания РДС-1.

10. В 1940–1950-е гг. в ИХФ проводились и ядерно-физические исследования, выходящие за рамки нашей статьи, но не менее важные, чем все перечисленное выше.

11. Ну, и наконец, общеизвестный факт: все работы по созданию РДС-1 и последующих в те-



В. К. Боболев



К. И. Щёлкин

чение полувека зарядов, боеприпасов, а также проведение ядерно-оружейных исследований и разработок координировал главный конструктор, а после 1955 г. – научный руководитель КБ-11 ВНИИЭФ Юлий Борисович Харитон, один из первых учеников Н. Н. Семёнова.

Этот беглый обзор, не претендующий на полноту, иллюстрирует огромную роль школы Н. Н. Семёнова в Атомном проекте. Тема нашей настоящей статьи – еще одна сторона деятельности школы Н. Н. Семёнова – подготовка кадров для ядерно-оружейного комплекса, а именно, кадров газодинамического профиля на базе созданного в 1942 г. Московского инженерно-физического института – МИФИ (ныне НИЯУ «МИФИ»).

Известно, что в 1942 г. этот институт был создан по инициативе Б. Л. Ванникова как Московский механический институт боеприпасов (ММИ) (см. книгу Н. А. Кудряшов, М. Н. Стриханов «Хроники ядерного университета МИФИ», М.: ООО «Ленанд», 2017 г.).

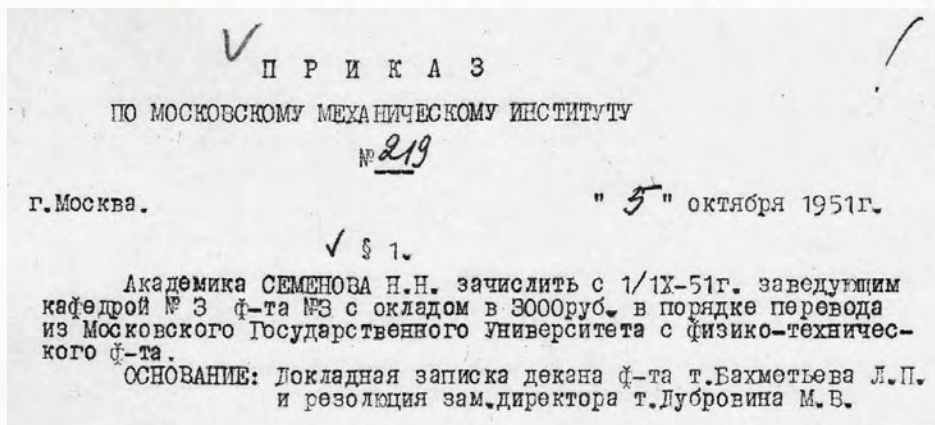
Задачи ядерно-оружейного проекта, а затем и атомной промышленности в целом привели в 1945 г. к передаче ММИ в ведение Первого главного управления (ПГУ) при Совете народных комиссаров (СНК) СССР и появлению в нем в 1946 г. инженерно-физического факультета, первым деканом которого стал А. И. Лейпунский, чье имя носит сейчас Физико-энергетический институт в Обнинске. Этот факультет и определил затем основную тематику и название института.

В 1951 г. правительством СССР было принято решение сосредоточить подготовку инженеров-физиков для атомной промышленности в одном вузе – ММИ, вследствие чего сюда перевели профильные факультеты и специальности, в том числе и студентов из МГУ, МВТУ, МЭИ, МАМИ, ЛЭТИ. Одной из новых кафедр инженерно-физического факультета стала кафедра № 4 (вначале – № 3) – кафедра физики быстропротекающих (физико-химических) процессов, основанная Н. Н. Семёновым, иногда называемая также кафедрой химической физики.

И многие годы в дипломах выпускников этой кафедры фигурировала запись: «Инженер-физик.

Специальность "Химия быстропротекающих процессов"». И это не шутка. Профессиональными химиками себя ее выпускники не считали, хотя и прослушали хороший курс, посвященный органической химии нитросоединений (взрывчатых веществ, порохов и ракетных топлив), и даже выполняли соответствующий лабораторный практикум. Под этой интригующе противоречивой записью понималась широкая специализация в физике взрыва – от теоретической гидроаэромеханики и механики сплошных сред до химии нитросоединений, не говоря уже о традиционных для МИФИ курсах математики, общей, теоретической, атомной и ядерной физики и т. п. Впрочем, говорят, что эта запись помогала некоторым устраиваться и преуспевать на химическом поприще.

В основу обучения на кафедре № 4 МИФИ был положен метод, ныне известный как «физтеховский»: фундаментальная подготовка по классическим дисциплинам велась в МИФИ, а специализация – на базе ИХФ и частично – в ИФЗ. Здесь студенты из первых рук наблюдали научный процесс, приобретая понимание «из какого сора растут стихи...». Ну, а уж преддипломная практика и дипломная работа выполнялись, как правило, в той организации, куда человек потом шел работать после вуза. Здесь действовало жесткое для 80–90 % выпускников правило распределения на работу («государство на тебя потратилось – изволь отработать»). В этом правиле были свои плюсы и минусы. Плюсы – уверенность в завтрашнем дне: ты обязательно будешь «трудоустроен», обеспечен жильем, приличной зарплатой и социальным пакетом. Минусы – обязательность, невыносимая для свободолюбивых. Но они все же, как правило, добивались своей свободы в выборе места работы, и не всегда удачно, так как Минсредмаш был в советское время «привилегированным»



министерством в части обеспечения упомянутых «пакетов» (работа, жилье, зарплата, профсоюзные льготы).

Ребята с московской пропиской и «свободолюбивые» иногородние чаще всего делали дипломные работы все в том же ИХФ. И эти работы, как правило, вскоре становились их первыми публикациями в научных журналах и первыми шагами в формировании имени в научном мире. Для тех же, кто попал в закрытые «ящики», путь к открытым публикациям был намного труднее, растягивался на долгие годы, а зачастую вообще был невозможен, что главным образом и отталкивало амбициозных – боязнь провалиться в черную дыру неизвестности.

У самой «физтеховской» системы тоже было объяснение и свои плюсы и минусы. Объяснение: на заре ядерной эры в 1950-х гг. только институты Академии наук обладали приемлемой экспериментальной базой и специализированными научными кадрами. Соответствующей базы в вузах, в том числе в новорожденном МИФИ, не было. Минусы проявились в конце XX века, в «перестройку», когда Академия наук оказалась в загоне, база ее институтов уже не соответствовала уровню и требованиям Минсредмашевских (Росатомовских) отраслевых организаций. Научные кадры хорошей квалификации в институтах академии еще были, но они быстро старели, а зарплата не соответствовала жизненным потребностям и амбициям молодых ученых.

Но вернемся на 4-ю кафедру. В 1960-е гг., когда автор учился в МИФИ, мы имели, начиная с 6-го семестра, трехдневное знакомство с тематикой практически каждой из лабораторий ИХФ, относящейся к нашей будущей специальности. Это называлось УИР – учебно-исследовательская работа. Организацией нашей практики заведовал в ИХФ уже упоминавшийся мной Альфред Янович Апин. За этими «трехдневками» следовала примерно полугодовая практика в одной из конкретных лабораторий ИХФ, что уже представляло некий интерес и для них – за полгода молодой парень мог сделать и что-нибудь полезное. Девушек в нашу группу и даже на весь наш факультет в МИФИ тогда не зачисляли.

И вновь – к началу 1950-х гг. По-видимому, первым или одним из первых выпускников ММИ-МИФИ – газодинамиком в КБ-11 был Владимир Константинович Чернышев, приехавший сюда в 1950 г., то есть до формального основания кафедры № 4. Доктор физико-математических наук, лауреат премий разного достоинства: Сталинской, Ленинской, Государственной СССР,



В. К. Чернышев

премии Правительства РФ, Международной премии Эрвина Маркса; кавалер орденов Ленина и Трудового Красного Знамени; разработчик ядерных зарядов, инициатор и разработчик первых безопасных детонаторов без инициирующих ВВ, руководитель разработки нескольких поколений систем синхронного детонационно-

го инициирования ядерных зарядов, создатель школы и разработчик нескольких поколений взрывомагнитных (магнитокумулятивных) генераторов различного типа – от самых первых 1950-х гг. до сверхмощных начала XXI века, а также их практических применений в решении как ядерно-оружейных задач, так и фундаментальных исследований импульсного термоядерного синтеза.

Благодаря последнему направлению, частично выполнявшемуся его командой в открытом для публикаций сотрудничестве с коллегами из Лос-Аламоса, он приобрел мировую известность.

Первый набор студентов на новую кафедру № 4 был из двух источников – из студентов, изначально поступивших в ММИ, и из студентов физико-технического факультета МГУ – при его реорганизации в МФТИ часть студентов была направлена в МИФИ, видимо, вместе с зав. кафедрой Н. Н. Семёновым.

Первый выпуск кафедры состоялся в 1953 г. Сплошное созвездие имен! Из 17 человек – 12 (тех, кого я знаю) докторов наук! Два академика: Борис Васильевич Литвинов, работавший до 1961 г. во ВНИИЭФ, затем переведенный во ВНИИТФ (тогда НИИ-1011) и ставший там главным конструктором и академиком, и Богдан Вячеславович Войцеховский. Он также работал вначале во ВНИИЭФ, в команде академика М. А. Лаврентьева, успешно разработавшей первый отечественный ядерный артиллерийский снаряд. С именем Б. В. Войцеховского в истории ИФВ связан еще начальный этап разработки многоканальных электроискровых регистраторов временных интервалов, приведший после к созданию уже другими сотрудниками серии уникальных многоканальных (сотни каналов) электрооптических регистраторов, не имеющих аналогов в мировой практике (см. книгу «Институт физики взрыва – исто-



Б. В. Литвинов



Б. В. Войцеховский

рия и современность», Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2018 г.).

В 1956 г. Б. В. Войцеховский уехал с М. А. Лаврентьевым в Москву в МФТИ, а затем в Новосибирск, где и стал академиком, заместителем М. А. Лаврентьева на посту директора Института гидродинамики (ныне ИГиЛ им. М. А. Лаврентьева СО РАН). Закончил Б. В. Войцеховский свои земные дни, увы, в Калифорнии, в США. В книге «Институт гидродинамики: люди, дела, даты», Новосибирск: ГЕО, 2017 г. сказано много теплых слов о Б. В. Войцеховском.

Из первого выпуска кафедры № 4 я бы отметил еще доктора технических наук Анатолия Григорьевича Иванова, проработавшего всю жизнь в ИФВ. А начинал он, пройдя перед этим войну «от звонка до звонка», лаборантом в ИХФ у Станислава Михайловича Когарко (о нем речь далее). За плечами А. Г. Иванова газодинамическая отработка практически всех ядерных зарядов разработки ВНИИЭФ до ухода Анатолия Григорьевича на пенсию, новая физическая схема первичного узла бинарной схемы, открытие ударных волн разрежения, создание школ динамической прочности материалов и взрывостойкости конструкций, исследований электрических явлений в ударных волнах и разработки мощных пьезоэлектрических генераторов, обоснование взрывостойкости корпусов реакторов на быстрых нейтронах (задолго до Чернобыльской аварии, когда сама речь о взрывных авариях в отечественных реакторах считалась крамольной), создание уникальных транспортабельных облу-



А. Г. Иванов

ческих явлений в ударных волнах и разработки мощных пьезоэлектрических генераторов, обоснование взрывостойкости корпусов реакторов на быстрых нейтронах (задолго до Чернобыльской аварии, когда сама речь о взрывных авариях в отечественных реакторах считалась крамольной), создание уникальных транспортабельных облу-

чательных комплексов. Академиком он, как и В. К. Чернышев, не стал – работал на закрытом предприятии и занимался сугубо оборонными делами в недостаточно высокой должности – начальник отдела, но сделано им и его коллективом столько, что хватило бы на несколько таких званий, работай он в «открытом» учреждении.

Подготовка специалистов нужного профиля тогда была очень гибкой. Так, Б. В. Литвинов в своих мемуарах пишет, что готовили их вначале как специалистов по физике ядерных реакторов. Практику они проходили на известном ныне комбинате «Маяк». По возвращении с практики в Москву выяснилось, что в КБ-11 срочно требуются газодинамики. И их группу объединенными усилиями МИФИ и ИХФ срочно «переучили». И ведь неплохо (см. выше)! Кстати, А. Г. Иванов, как он рассказывал, какую-то из своих учебно-исследовательских практик проходил у М. А. Лаврентьева в Феофании под Киевом.

Эта практика (прошу прощения за повторение слова «практика» в разных смыслах) срочного переучивания МИФИстов других специальностей в газодинамику продолжалась и позже. Так, мой начальник лаборатории во ВНИИЭФ, кандидат физико-математических наук, лауреат Государственной премии Р. С. Осипов (выпуск 1957 г.) рассказывал, что их сначала учили специальной металлургии и материаловедению. Потом переучили на «газодинамику». И тоже неплохо – из группы вышло около десятка известных мне докторов наук, руководителей отделов и лабораторий, лауреатов Ленинских и Государственных премий!

В их числе Л. Д. Рябев – будущий директор ВНИИЭФ, министр МСМ – Минатома и первый заместитель председателя последнего в истории СССР кабинета министров.

Третий академик из «газодинамиков МИФИ», выпускник кафедры 1956 г., В. В. Адушкин, работавший в том числе директором ИФЗ АН СССР (ИДГ РАН), преемник М. А. Садовского, ныне научный руководитель ИДГ.

Дальнейшее поименное перечисление даже выдающихся выпускников кафедры № 4 за все годы ее существования физически невозможно без опасения утомить читателя, пропустить кого-



Л. Д. Рябев

то или обидеть некорректностью. За первые 47 лет, с 1953 по 2001 г., кафедра выпустила около 900 инженеров-физиков. После 2001 г. автор списков выпускников не имеет. Видимо, это число приблизилось к тысяче. Около 30 % из них работали или работают в ядерно-оружейном комплексе – в ядерных центрах или на производственных предприятиях Росатома, другие – в институтах РАН близкого нам профиля (ИХФ, ИПХФ, ОИВТАН), Министерства обороны и других организациях оборонного комплекса страны. Очень неплохой «целевой показатель»!

Второй имеющийся у меня список – выпускники кафедры № 4 в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Число докторов и кандидатов наук, начальников подразделений ядерного центра (институтов, отделений, отделов, лабораторий), лауреатов Ленинской, Государственной и Правительственной премий, кавалеров государственных наград превышает полсотни. Список неполный, так как составлялся мною по памяти, без привлечения услуг кадровых служб ВНИИЭФ. С академическими званиями хуже – их нет. Объяснение в моем понимании – смотри выше. Мы работаем в «закрытой» области и вообще в другой структуре – не в Академии наук – и можем публиковать только дозволенное. Однажды в беседе с одним из коллег из Лос-Аламоса (до периода санкций) на его вопрос о количестве академиков во ВНИИЭФ я ответил: «Немного, в сравнении с институтами Академии наук. Дело в том, что *They publish their best, we publish our rest* (Они публикуют свои лучшие работы, мы – наши (дозволенные) остатки)». На это он сказал: «Ах да, это же (Академия наук) другая организация».

Было время, это 1960–1980-е гг., когда выпускники кафедры № 4 составляли кадровое ядро газодинамического отделения – ИФВ ВНИИЭФ (сейчас их около 3 % от общей численности ИФВ), играли заметную роль и в работе других подразделений, например, нынешнего Института лазерно-физических исследований (ИЛФИ), особенно в период его формирования в начале 1970-х гг. на базе одного из отделов газодинамического сектора 3.

Перечислим некоторые научные направления РФЯЦ-ВНИИЭФ, в формировании и реализации которых непосредственное, а зачастую и определяющее участие принимали выпускники кафедры Н. Н. Семёнова и его преемников (см. эпиграф к статье).

1. Основная тематика ВНИИЭФ – создание, обеспечение надежности и безопасности ядерного арсенала страны.



Е. Е. Мешков

2. Отечественная школа динамических методов исследований экстремальных состояний вещества и динамики конструкций.

3. Исторически первое в мире направление импульсного инерциального термоядерного синтеза без использования энергии реакций деления ядер – газодинамический термоядерный синтез (ГДТС) и его

практические приложения.

4. Исследования гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания в нестационарных импульсных течениях (один из видов неустойчивости сейчас в мире называется именем Е. Е. Мешкова – выпускника кафедры 1960 г.). Его статья в этом номере журнала.

5. Мощные прецизионные взрывчатые составы, системы инициирования и безопасные электродетонаторы.

6. Первые в мире исследования, разработка и практические применения взрывомагнитных генераторов.

7. Исследования электрических явлений в ударных волнах, разработка, создание и применение мощных пьезоэлектрических генераторов, пьезоэлектрических и сегнетоэлектрических детекторов.

8. Создание мощных импульсных лазеров (реализовано в секторе 13 – ИЛФИ).

9. Разработка, создание и практическое применение уникальных методов и средств диагностики взрывных процессов, включая диагностику ядерных взрывов.

10. Промышленные приложения взрывных (импульсных) технологий.

11. Разработка боевых частей обычных (неядерных) систем вооружений в порядке диверсификации ядерно-оружейного комплекса.

Чтобы не утомить читателя, поставим на этом перечислении точку. Многое из сказанного выше о роли школы Н. Н. Семёнова и кафедры № 4 МИФИ может быть перенесено и на РФЯЦ-ВНИИТФ с тем только отличием, что ВНИИТФ возник на несколько лет позже кафедры № 4. Тем больше ее вклад там, но думаю, что у меня нет полномочий писать за ВНИИТФ.

И наконец, собственно о кафедре, о ее заведующих в разные годы и о некоторых ведущих преподавателях специальных дисциплин, у ко-

торых довелось учиться автору этих строк более 50-ти лет назад.

1. Основатель и первый зав. кафедрой (с 1951 по 1957 г.) академик Н. Н. Семёнов. Дважды Герой Социалистического Труда, кавалер девяти орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени, Большой золотой медали им. М. В. Ломоносова, лауреат Ленинской и двух Сталинских премий, Нобелевский лауреат, член многих зарубежных академий.

2. Его преемник академик М. А. Садовский, зав. кафедрой № 4 с 1957 по 1958 г. Герой Социалистического Труда, кавалер 4-х орденов Ленина, 3-х орденов Октябрьской Революции, ордена «Знак Почета», лауреат Ленинской и четырех Сталинских премий. Награжден Большой золотой медалью им. М. В. Ломоносова.

3. Третий заведующий кафедрой Станислав Михайлович Когарко, доктор технических наук, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, заместитель директора ИХФ АН СССР в 1954–1958 гг., долгожитель (прожил 102 года), по работе в ИХФ (с 1933 г.) и по заведованию кафедрой № 4 МИФИ с 1958 по 1982 г. – 24 года! Героическое время ядерно-оружейной эры прошло, «звездопад» закончился, академики покинули кафедру (да и МИФИ тоже в силу обстоятельств). Тем больше заслуга С. М. Когарко. За период его заведования кафедра выпустила около 700 инженеров, на кафедре «защитились» 6 докторов и 15 кандидатов наук. Выпускники кафедры были востребованы.

4. Виталий Иванович Пепекин. Доктор наук, лауреат Государственной премии, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора ИХФ. Заведовал кафедрой № 4 с 1982 г., с 1979 г. читал на кафедре курс лекций «Химия энергоемких соединений» (после С. С. Новикова). Был ученым секретарем Научного совета АН СССР по мощным ВВ (председатель – Н. Н. Семёнов). Почетный профессор МИФИ. Основное место работы – ИХФ, как и у предшественников. Помимо заведования кафедрой, входил также в состав отраслевой комиссии МСМ (Минатома) по взрывчатым веществам, в функциях которой были и задачи координации работ по ВВ для нужд МСМ, смежников из других отраслей промышленности, Академии наук и учреждений высшего образования.

5. Юрий Васильевич Фролов, заместитель директора ИХФ, выпускник кафедры 1961 г., доктор физико-математических наук, лауреат



С. М. Когарко



В. И. Пепекин

Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки Российской Федерации, член Международного пиротехнического общества, член-корреспондент РАН, академик Российской академии пожарной безопасности. При нем кафедра № 4 сменила название – вместо «физика быстропротекающих процессов» на «химическая физика». Это, возможно, соответствовало официальной «номенклатуре» специальностей, но, по сути, сузило тематику и снизило привлекательность кафедры для ядерно-оружейного комплекса. На его время, да и на время В. И. Пепекина, пришлось годы «перестройки», когда занятия оборонной наукой и работа в Академии наук считались дурным тоном и уделом неудачников. Годовой выпуск кафедры упал с обычных 20–25 человек до исторического минимума в 1990 г., до 4-х человек. Честь и хвала Юрию Васильевичу и руководству МИФИ за то, что сохранили кафедру, хотя ее выпускники уже практически перестали приезжать в закрытые города Росатома, предпочитая оседать в Москве и заниматься совсем не вопросами специальности.

6. Нынешний зав. кафедрой № 4 Сергей Александрович Губин, доктор физико-матема-



Ю. В. Фролов



С. А. Губин, 2013 г.



Г. Л. Шнирман

ный взрывной эксперимент ныне без численного моделирования – штука дорогая и практически бессмысленная.

На кафедре № 4 в 1940–1950-е гг. преподавали также академики школы Н. Н. Семёнова: Я. Б. Зельдович, В. Н. Кондратьев (курс «Строение атомов и молекул»), В. И. Гольданский, а до 1967 г. – упоминавшийся в начале статьи доктор наук А. Ф. Беляев (курс «Теория ВВ»), уехавший из КБ-11 в 1948 г.

Одно из ярких впечатлений старших курсов – лекции начальника лаборатории спецсектора ИХФ-ИФЗ, доктора технических наук, четырежды лауреата Госпремий СССР, кавалера многих орденов Георгия Львовича Шнирмана, разработчика уникальной аппаратуры и методов диагностики взрывных процессов как лабораторных, так и полигонных.

Тогда все наши курсы лекций по специальности были под номерами, его курс можно было назвать «Методы и средства диагностики быстропотекающих процессов». На лекциях чувствовалась энциклопедичность его знаний – от сейсмологии до растровой полиграфической и цифровой техники (тогда термина «цифровизация» не было), и видно было, что все это мы

слушаем не из учебников, а из первых рук разработчика, а студенты это чувствуют. После его ухода из жизни в 1993 г. в журнале «Успехи физических наук», 1994, т. 164, № 7, была опубликована мемориальная статья «Георгий Львович Шнирман – создатель быстродействующих приборов» с «жизнеописанием выдающегося российского



В. Н. Кондратьев

тических наук, почетный работник высшего профессионального образования, выпускник кафедры 1969 г., сокурсник автора этой статьи. Еще в 1970-х гг. занялся физическим и численным моделированием и термодинамическими расчетами взрывных физико-химических процессов и газодинамических течений, поскольку прилич-

ученого, <...> родоначальника многих направлений отечественного приборостроения, <...> автора и создателя <...> аппаратуры испытательных ядерных полигонов, серий сейсмических станций <...> контроля за ядерными испытаниями...». Его научная жизнь протекала с 1927 г. до его кончины в 1993 г. По свидетельству научного руководителя Семипалатинского полигона М. А. Садовского: «...80 % аппаратуры, работавшей в Семипалатинске в 1949 г. <...> на первом ядерном взрыве, было сконструировано и разработано Георгием Львовичем или под его прямым руководством...». В адресе, присланном Г. Л. Шнирману к его 75-летию из г. Загорска (ныне г. Сергиев Посад), из института МО, он был назван «прибористом номер один»! Под его руководством в начале 1950-х гг. создавались знаменитые высокоскоростные фоторегистраторы СФР по ТЗ КБ-11, до сих пор работающие в лабораториях всей страны и даже за рубежом – в Институте физики жидкости Китайской академии инженерной физики (КАИФ) в начале 2000-х гг. я видел такой хронограф поздней модификации.

На пост начальника приборно-методического отдела 26 газодинамического сектора 3, после отъезда в 1951 г. в Курчатовский институт Е. К. Завойского (будущего академика), планировался П. В. Кевлишвили – один из ближайших сотрудников Г. Л. Шнирмана. Одна из настольных книг газодинамиков 1970-х гг. «Фотографическая регистрация быстропотекающих процессов» написана его учеником А. С. Дубовиком.

Столь же яркое впечатление оставил о себе член-корреспондент АН СССР Сергей Сергеевич Новиков, лауреат Ленинской и Государственной премий СССР, премии АН СССР им. Бутлерова, начальник отдела ИОХ – Института органической химии. Казалось бы, что нам в «ядерном университете» органическая химия? Впрочем, и о квантовой химии он нам говорил, как и о ее небольших в то время успехах. Тоже – материал из первых рук! Помню, он, профессионал в органической химии нитросоединений (ВВ), говорил (тогда шло внедрение в боеприпасы октогена – наиболее ныне распространенного в боеприпасах мощного термостойкого индивидуального ВВ): «Ребята, предел мечтаний органиков – плотность 2 г/см³ и скорость детонации 9 км/с». Прошло более 50 лет, и этот предел для практически применяемых ВВ не достигнут. Много раз потом и в России, и даже за границей (вспоминается беседа со «взрывчатником» Петром



С. С. Новиков

Моштаком из Пардубице, Чехия) приходилось слышать о С. С. Новикове, как о непревзойденном специалисте. Он понимал, что мы не химики, и тем не менее вот уже три выпускника кафедры № 4 несколько десятилетий подряд последовательно возглавляли и возглавляют комиссию по ВВ МСМ – Росатома: Б. В. Литвинов, Б. Г. Ло-

бойко и О. В. Костицын.

Его лекции прекрасно перемежались с рассказами «из жизни», столь полезными молодежи. Я уже писал, что основная экспериментальная база по изучению физики быстропротекающих процессов для нас была в ИХФ. А вот С. С. Новиков сумел организовать для нашей группы в новеньком, с иголки, инженерном корпусе МИФИ на Каширском шоссе лабораторию по химии нитросоединений. С уходом

С. С. Новикова эта лаборатория прекратила свое существование.

Ну и, наконец, доцент кафедры и ее выпускник 1960 г., кандидат физико-математических наук Александр Васильевич Любимов. Не менее 50 лет вел базовый теоретический курс «Механика сплошных сред» (шел также под номером), построенный на монографиях Лойцянского и Лурье, Кочина, Кибеля и Розе, Ландау и Лифшица, Зельдовича и Райзера.

С 1970 г. был заместителем заведующего кафедрой № 4 С. М. Когарко, после ухода с кафедры Г. Л. Шнирмана вел также курс «Экспериментальные методы химической физики», подготовил и издал в МИФИ несколько методических разработок и сборников задач по гидро-, газодинамике. Как я понимаю, преподавание сложного теоретического курса и учебно-методические нагрузки помешали ему написать докторскую диссертацию. В последние годы (ушел из жизни в 2018 г.) вел также учебный процесс на кафедре, обремененный ныне непомерной отчетностью.

На этом надо поставить точку. Надеюсь, я добавил еще один штрих в картину многообразного вклада научной школы академика Н. Н. Семёнова в ядерно-оружейную программу СССР – России.

Автор благодарен А. В. Белоцерковцу, С. А. Губину и О. В. Свирскому за помощь в подготовке материалов по кафедре № 4 и стимулирование написания статьи, З. В. Соколовой – за оформление материала статьи.



А. В. Любимов



Член-корреспондент РАН В. Д. Селемир, академик В. Н. Михайлов и доктор технических наук А. Л. Михайлов около бюста академика Ю. Б. Харитона

МИХАЙЛОВ Анатолий Леонидович –

выпускник кафедры 1969 г., заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ, директор ИФВ с 1998 по 2018 г., лауреат Государственной премии, двух премий Правительства РФ, премии РАН им. А. А. Бочвара, заслуженный деятель науки РФ

Мой диплом в Институте химфизики

А. В. БЕЛОЦЕРКОВЕЦ

*...Пробив диплома стену лбом железным,
Как нас учил профессор Соколов,
Рванули – кто в Челябинск, ныне Снежинск,
Кто в Арзамас, теперь уже Саров.*

А. И. Сергеев. Баллада о группе № 6

Я до сих пор чувствую себя причастным к Институту химфизики и его сотрудникам. Я писал там дипломную работу почти год: с марта 1968 г. по февраль 1969 г. И ныне, в 2019 г., для меня и моих однокурсников – юбилейная дата. Прошло ровно 50 лет, как мы защитили дипломы и стали молодыми специалистами! Срок большой, но в памяти сохраняются эпизоды и люди той поры, с кем довелось соприкоснуться в ИХФ.

Я учился в МИФИ на факультете «Э» (физико-энергетический), в группе 06. Как мы узнали в ходе учебы и при получении диплома, специальность этой группы – химия (и физика) быстропротекающих процессов, кафедра № 4. Судя по номеру – это одна из первых профильных кафедр в МИФИ. Базовым предприятием для нашей кафедры является Институт химической физики АН (ИХФ). На старших курсах нам читали следующие специальные предметы:

- горение и детонация газов (С. М. Когарко);
- органическая химия ВВ (С. С. Новиков);
- механика сплошных сред (А. В. Любимов);
- химическая кинетика (А. Н. Вавилов);
- детонация конденсированных ВВ (А. К. Парфенов);



ИХФ, корпус 1

• методы регистрации быстропротекающих процессов (Г. Л. Шнирман).

Некоторые из преподавателей тоже окончили нашу кафедру: А. Н. Вавилов в 1958 г., А. В. Любимов в 1960 г., А. К. Парфенов в 1961 г. Заведующим кафедрой при нас был Станислав Михайлович Когарко, заведующий лабораторией горения газов ИХФ.

При распределении на диплом наша группа из 26 человек была разделена на 3 части. Москвичи оставались на диплом в ИХФ, иногородних же сотрудница отдела кадров МСМ Л. А. Тишкина направляла по двум адресам: на Урал (Челябинск-70) и в среднюю полосу (Арзамас-16). В ИХФ их называли УК (уральская контора) и ПВК (приволжская контора). В Арзамас «рванули»: В. И. Егоров, В. С. Кондрахин, А. Л. Михайлов, Н. З. Пинчуков, Е. С. Тюнькин (но только еще пробивать стену диплома). А двое иногородних студентов смогли остаться на диплом в ИХФ: это В. И. Еремин и я. Меня взяли на диплом в группу И. М. Воскобойникова.

ИХФ располагается в нескольких малоэтажных корпусах на живописной территории Воробьевых гор между Ленинским проспектом и Москва-рекой. Корпус 6 был ближним к Ленинскому проспекту. Внутри него на 3-м этаже в угловой комнате работали три научных сотрудника: Игорь Михайлович Воскобойников, Анатолий Николаевич Афанасенков и Владимир Михайлович Богомолов.

Здесь я начал делать диплом. В этой же группе делал диплом мой товарищ Виталик Ганявин. Все трое сотрудников были своеобразными яркими личностями и учили меня каждый по-своему. Еще была сотрудница Галина Сергеевна Соснова и два лаборанта: Валера и Саша. Все они входили в лабораторию А. Я. Апина, а лаборатория входила в отдел ГКС (горения конденсированных систем) П. Ф. Похила. Позже я узнал, что А. Я. Апин был участником Атомного проекта в КБ-11 на очень ответственном участке – разработке нейтронного запала, напряженная работа над которым завершилась только в июне 1949 г. За работы над новым мощным ВВ – октогеном А. Я. Апин стал лауреатом Госпремии. А все трое сотрудников в разные годы закончили нашу кафедру: И. М. Воскобойников в 1958 г.,

А. Н. Афанасенков в 1962 г., В. М. Богомолов в 1963 г. – он и стал моим руководителем.

В ИХФ серьезно относились к выбору руководителя и к уровню диплома. Богомолов был москвичом, но до этого несколько лет работал в Челябинске-70 и с большим уважением вспоминал о К. К. Крупникове (у которого, видимо, работал) и о В. И. Жучихине. В. М. Богомолов тогда недавно защитил кандидатскую диссертацию, а И. М. Воскобойников готовился защищать докторскую.

Группа Воскобойникова занималась ударными волнами и детонацией конденсированных ВВ. Мне была предложена тема «Разложение растворов тетранитрометана (ТНМ) в ударных волнах». Работа была экспериментальная, связанная с проведением взрывных опытов. В подвале корпуса 6 была взрывная камера, в помещении которой за бронедверью можно было взрывать заряды ВВ размером до $\varnothing 40 \times 100$ мм и регистрировать протекающие процессы с помощью нескольких методик.

Доверие к молодым исследователям в ИХФ было большое. Я освоил все стадии проведения взрывного опыта. Молод на шаровой мельнице тротил, прессовал его на ручном прессе до таблеток различной плотности, измерял плотность таблеток и собирал заряд. Готовил исследуемую смесь, ставил электродетонатор № 8 и подрывал заряд. Регистрировал свечение во времени с помощью СФР (ЖФР), проявлял фотопленки и обрабатывал результаты. Для жидких ВВ: ТНМ и смесь ТНМ+бензол мы исследовали зависимость времени задержки взрыва от давления в ударной волне. Из полученных данных были рассчитаны константы кинетики взрывчатого разложения смесей. Энергия активации для реакции разложения данной смеси оказалась заметно ниже, чем для чистого ТНМ.

Кроме экспериментальных исследований, руководители предложили выполнить для диплома и соответствующую расчетно-теоретическую часть. Они обсуждали со мной различные модели уравнения состояния жидкости, отвечающие тем или иным физическим представлениям. По модели «молекулярного кристалла» мне удалось рассчитать вручную, без вычислительных средств (тогда у них были только счетные машинки «Мерседес» и «Рейнме-

талл») температуру в ударносжатых жидкостях. Получилось, что для чистого ТНМ и для смесей в ударной волне жидкости нагреваются до практически одинаковых температур.

В дополнение к исследованию взрывчатых смесей в жидкой фазе В. М. Богомолов предложил еще одно направление исследований. В лаборатории С. М. Когарко, в корпусе 1, была исследовательская установка с ударной трубой, руководил которой однокурсник Богомолова И. М. Заслонко. У него же делал диплом мой одноклассник Юрий Петров. Они (Богомолов и Заслонко) договорились поисследовать кинетику разложения смесей ТНМ в ударных волнах и в газовой фазе на ударной трубе.

Корпус 1 был самым красивым, переделанным из старинного особняка, в нем был и кабинет Н. Н. Семёнова. Корпус был ближним к Москва-реке, рядом с живописной зеленой зоной, спускающейся с Воробьевых гор вниз.

Таким образом появилась вторая часть моей дипломной работы – эксперименты в газовой фазе на ударной трубе. Оборудование тут было более сложное, к тому же я был гость, а не хозяин. Тем не менее, эксперименты были успешно проведены, и результаты вошли в мой диплом. По изменению спектров поглощения смесей под действием ударной волны было показано, что начальной стадией разложения газовых смесей ТНМ+НМ и ТНМ+толуол является все-таки мономолекулярный распад ТНМ, т. е. добавки, в отличие от жидкой фазы, не влияют на кинетику разложения.

Итак, я писал дипломную работу по двум экспериментальным разделам. Я подробно изучал литературу по поведению инертных и взрывчатых веществ при высоких давлениях и температурах. В Москве в то время это делалось так. Я оформил читательские билеты в две ведущие технические библиотеки Москвы: НТБ (научно-техническая библиотека) и ВГБИЛ (библиотека иностранной литературы). Обычная процедура была: искать в библиотечном каталоге, найти



М. В. Синыцын



Ф. В. Григорьев



А. И. Фунтиков



К. Б. Юшко

книгу или журнал, заполнить и сдать бланки заказов; на следующий раз получить литературу, читать и делать выписки. Ксерокопирование тогда было проблематично и недешево для студента.

В ИХФ нас старались приобщать к науке. Руководители обсуждали с нами статьи советских и зарубежных авторов, появившиеся в научных журналах; книги, имеющиеся в магазинах. И. М. Заслонко и Е. В. Мозжухин перевели с английского солидную книгу на актуальную тему «Возбужденные частицы в химической кинетике». Когда книга вышла из печати, они подарили мне экземпляр со своими автографами. В ИХФ регулярно проходили научные семинары, мы на них тоже присутствовали, набирались знаний. В дискуссиях чувствовалась конкуренция между ИХФ и его филиалом в Черноголовке. На одном из семинаров мне показали сидящего недалеко в зале Якова Борисовича Зельдовича.

В конце дипломной работы для объяснения полученных результатов я привлек возможность образования в растворе комплексов (межмолекулярных донорно-акцепторных связей), ослабляющих реакционную связь и снижающих энергию активации. И сделал вывод, что образующиеся комплексы – основная причина высокой скорости термического разложения смесей. Я выступил с результатами на семинаре в лаборатории.

Защита дипломов проходила в ИХФ в кабинете Николая Николаевича Семёнова. Его не было на защите, но, проходя мимо по коридору, он поздоровался со мной за руку. Полученные результаты не остались лежать только в дипломной папке. Вскоре руководители работы написали 2 статьи по результатам, полученным в жидкой и газовой фазах, в солидные журналы: «Известия АН СССР» и «Кинетика и катализ». Так появились мои первые открытые публика-



А. Веселов, В. Пунин, А. Белоцерковец, 1 мая 1969 г.

ции. Первая из статей поступила в редакцию уже 09.06.69 г.! При работе во ВНИИЭФ публикации появятся не скоро.

После получения диплома я подписал у Тишкиной согласие на работу в Арзамасе-16, отправился по указанным мне адресам и прибыл поездом Москва – Йошкар-Ола на станцию «Тупиковая». Затем мои товарищи по группе, уже работавшие здесь, помогли мне сориентироваться и перераспределиться с 3-го завода в отдел 24 С. Б. Кормера. Мне назначили встречу, и у проходной я встретился с М. В. Сеницыным. Он меня порасспрашивал и, видимо, я ему понравился, к тому же он знал уровень работ ИХФ и его сотрудников (он сам был из первого выпуска нашей кафедры). И меня приняли на работу – 29 апреля 1969 г. Через 2 трудовых дня наступил праздник 1 Мая и традиционная для тех лет демонстрация трудящихся всех предприятий города. На ней получился удачный исторический снимок: свежееиспеченный молодой специалист в окружении сотрудников отдела.

Я с удовольствием работаю в этом коллективе уже 50 лет, хотя тематика работ стала довольно далекой от специальности, которой меня учили на дипломе, как, впрочем, и у многих других сотрудников. Изучая списки выпускников нашей кафедры, я увидел, что ее окончили многие руководители сектора 13, где я работаю: М. В. Сеницын (в 1953 г.), Ф. В. Григорьев (в 1953 г.), К. Б. Юшко (в 1954 г.), А. И. Фунтиков (в 1956 г.), В. Т. Рязанов (в 1958 г.). Они начинали работу по газодинамической тематике в секторе 3, достигли значительных успехов, стали кандидатами наук, лауреатами премий, начальниками отделов и лабораторий. М. В. Сеницын – начальник отдела, Ф. В. Григорьев – начальник отдела, К. Б. Юшко – начальник лаборатории, А. И. Фунтиков – начальник отдела, В. Т. Рязанов – зам. начальника отдела.

После них в отдел 24 и сектор 13 с нашей кафедры уже редко кто поступал. Изменилась направленность работ с газодинамической на лазерную, набирали выпускников уже другого профиля. О дальнейших работах рассказано в журнале Атом, 2010 г., № 49.

БЕЛОЦЕРКОВЕЦ Александр Васильевич –

выпускник кафедры № 4 1969 г.,
старший научный сотрудник ИЛФИ РФЯЦ-ВНИИЭФ

ТЕОРЕТИК И ПОЛИГОНЫ

С. С. ЖИХАРЕВ



С. С. Жихарев

Первый раз я попал на этот полигон в феврале 1975 г. Незабываемое впечатление оставила на всю жизнь дивная ночь в горах: первозданная тишина, на фоне неба сияют горные вершины, россыпь звезд и полная луна. «Ночь тиха. Пустыня внемлет богу. И звезда с звездой говорит». Это зрелище космической красоты и сейчас стоит

перед моими глазами.

Лето оставило воспоминания сильной жары, жгучего солнца, осень запомнилась арбузами и валами «перекати поля», зима – ярким солнцем и морозами. Однажды зимой под вечер четыре человека во главе с В. Н. Михайловым (в то время он был научным руководителем НИИИТа и заместителем председателя Государственной комиссии по полигонному опыту) возвращались на УАЗике из штольни в г. Курчатове, это в 120 км от города. В середине пути их застал буран, и скоро они поняли, что сбились с пути. Остановили машину. Сильнейший ветер, мороз под 30. Два часа их грел в машине мотор. Еще час продержались. Потом по предложению Михайлова стали жечь автомобильные шины. Продержались с большим трудом до утра. Слегка обморозились. Утром была великолепная ясная солнечная погода. Группу сразу обнаружили с самолета и доставили в г. Курчатове.

Еще яркое воспоминание. На территории полигона располагается богатое месторождение агатов. Я обсудил все вопросы постановки измерений с экспериментаторами и был свободен на несколько дней. В этот период шел процесс забивки штольни бетоном. Вечером договорился с коллегой, что на машине его группы мы поедем искать агаты. А утром возникло «ЧП»: очень мощный источник нейтронов, необходимый для опыта, пропал. Сам источник маленький, менее сантиметра в диаметре. Его привезли самолетом из нашего института. Там он хранился на специальной площадке в скважине на глубине 12 метров.

Лаборант поднял его на поверхность, положил в ложку трехметровой длины, захлопнул крышечкой сверху (было недавнее усовершенствование), бегом побежал и опрокинул шарик в отверстие в контейнере. Этот тяжеленный контейнер представлял собой метровой высоты цилиндр с чередующимися слоями свинца и полиэтилена. Когда цилиндр доставили к штольне, он оказался пустым. Такой мощный источник легко обнаруживается дозиметрами. Обыскали все вокруг: пусто. Срочно собралась Госкомиссия (я был ее членом, заместителем председателя по науке). Обшарили еще раз. Послали телеграмму в институт, не забыли ли положить источник. Нет, источник отправлен. Такой источник для посвященного человека – бомба замедленного действия. Дело дошло до Москвы. Еще раз обыскали, еще раз запросили, еще раз получили тот же ответ из института. Тихонько проверили солдат: вдруг этот мальчишка с автоматом увидел смертоносный шарик и взял себе.

На третий день решили начать как бы радиационные учения в городе Курчатове, благо дозиметром можно было обнаружить источник в квартире с лестничной площадки. Из Москвы громыхали окрики. Еще раз в тоске настоятельно обратились в институт. Вот там и обнаружили этот источник. Оказывается, лаборант в спешке выронил его в помещении со скважиной, ложка ведь трех метров длины, сверху закрыта, и он ничего на бегу не заметил. Далее наклонил ложку над контейнером, отверстие в контейнере прикрыли, все упаковали. Был, конечно, скандал. Вновь посылали самолет за источником. На будущее крышку с ложки убрали. Оказалось, источник лежал на полу, а курильщики курили за стенкой рядом с источником. После чего я всем, рассказывая эту историю, говорил о вреде курения. Ну а поездка за агатами накрылась.

Очень яркие впечатления остались от северного полигона (УП-700, «семисотка») на Новой Земле. Я отношусь к той категории людей, которые после встречи с Севером влюбляются в него на всю жизнь. Центр полигона – поселок Белушья Губа на южном острове. Сам полигон расположен в горном массиве южного острова, примыкающем к проливу Маточкин Шар. Поселок испытателей построен на берегу пролива почти

напротив пика Седова. Красивейшее место на Земле! Однажды читал восторженные строки полярного исследователя Седова, посвященные этому месту.

Жили мы в шикарных условиях: на пассажирском корабле, теоретики – в двухместной каюте на палубе, обслуживание, кафе с хорошими винами – цивилизация! Хуже становилось, когда корабль уходил в ноябре на Большую Землю, и нас переселяли в полярные домики. Это двухместные каморки, тесно сдвинутые в один ряд впритык друг к другу с одним общим коридором, с заколоченными окнами. Часами любовался на палубе северным сиянием. Потрясающие по красоте картины с дивными чистыми красками. Чистейший воздух, солнышко ходит по небу низко-низко, так что половина дня то ли закат, то ли восход. Отсюда и краски. Помню, как из просвета между тучами вдруг хлестнул, как из гигантского фонаря, по горному склону мощный здоровущий луч кроваво-красного света шириной около километра.

В моей памяти осталась встреча с главным геологом геологической партии, попавшей на Новую Землю после 30 лет полной для геологов недоступности. Мы с ним ходили и увлеченно беседовали около двух часов. Он с восхищением говорил, какое это счастье для геолога попасть в эти места во всеоружии геологоразведочной науки, так сильно шагнувшей вперед за 30 лет. Сейчас там открыты богатые месторождения минералов и ставится вопрос по организации их добычи.

Во множестве встречали белых медведей. Раз в два-три года случались истории с нападением их на людей, заканчивались всегда печально. Помню, кричал с борта корабля двум солдатам, за которыми крался здоровущий медведь, а они его не видели. Видел несколько раз: медведь стоит в воде, медведь лежит на дороге. Однажды медведь пытался достать солдата на эстакаде. Солдат стал стрелять в воздух, никакого впечатления. Связались с адмиралом, тот с Москвой, дали разрешение выстрелить в медведя. Медведь получил тяжелое ранение, по распоряжению прокурора раненого кормили. Он выздоровел, переплыл на Северный остров, а потом оттуда приплыл еще с одним медведем.

Однажды пришлось пристрелить медведя, когда зимой двое солдат в домике на берегу Карского моря несли службу (одни, на десятки километров вокруг людей нет! Б-р-р!) и оказались буквально в осаде. Также просили разрешения у Москвы. Известна история 1970-х гг. с органи-

зацией военными регулярного отстрела медведей для получения шкур на подарки высокому военному руководству. Когда это всплыло наружу, много людей со своих постов были сняты.

Лично у меня осталась очень яркая история начала 1980-х гг. Как старый опытный «волк» я прилетел в пос. Белушья Губа вместе со Станиславом Николаевичем Ворониным (руководителем Госкомиссии на испытании, главным конструктором) максимально поздно. Вся экспедиция уже была на полигоне, а мы дня три жили в поселке. Там объявился белый медведь, подросток, ростом метра полтора. Он слонялся по поселку, а за ним толпа любопытных, ну и мы конечно. Когда нужно было отогнать медведя, его отгоняли вездеходом: эту машину он уважал.

Ярким солнечным утром нам сообщили новость: вчера вечером медведь вдруг бросился к женщине, выхватил у нее сумку с только что полученной зарплатой, нырнул в озеро, вынырнул посередине, разорвал сумку на клочки и поплыл на другую сторону. Выслушали мы эту новость и пошли с Ворониным в центр связи для переговоров с экспедицией. Дорога между гостиницей и центром связи выложена разборными плитами (металло-древесные с отверстиями) шириной около двух метров. Идем, видим, навстречу по плитам идет медведь, за ним мичман. Прошли мимо медведя и мичмана. Вдруг мичман нас останавливает: «Слышали, что вчера случилось? То-то и то-то. Вот после этой истории адмирал приказал медведя сопровождать, и я сопровождаю». Я спросил, есть ли у мичмана оружие? Нет, не выдали. А что будешь делать в случае нападения медведя на человека? Отвечает: «Не знаю, ...но адмирал приказал». Мы пошли было дальше, но тут мичман нас окликнул и произнес великую фразу: «Вы только представьте, я сейчас на Земле единственный пастух белых





Пролив Маточкин Шар. С. С. Жихарев на борту корабля

медведей!». Мы рассмеялись, и эта пара пошла дальше – впереди медведь, за ним мичман.

Еще одна история, целая эпопея, связана с солью. Испытывался заряд, и была предусмотрена методика измерения мощности по скорости распространения в воде ударной волны от взрыва. Для этого заряд в штольне располагался в бассейне с водой. Температура замерзания воды в Баренцевом море минус два градуса, в штольне температура может доходить до минус пяти. При написании технического задания на опыт я, из опасения замерзания воды вокруг заряда во время испытаний, предусмотрел засыпать в бассейн три тонны соли и сразу же об этом сообщил по телефону Рюрику Трунину, чей отдел должен был проводить измерения. Соль везли из института. До отъезда экспедиции я раза три звонил Трунину, чтобы не забыли про соль. На последний звонок он ответил: «Стас, ты мне надоел своими звонками. Беру соль на себя. Не беспокойся». Прилетаю на вертолете на полигон. Выхожу, а в вертолет поднимается Трунин. Он провел подготовку к эксперименту, оставил свою группу, а сам улетал домой. Я бросился к нему с вопросом о соли. «Стас, лично следил, как соль в Мурманске грузили на корабль. Когда корабль пришел на полигон, соли на нем не было. Пока!». И дверь вертолета захлопнулась за ним.

Поднял вопрос о соли на Госкомиссии. Три тонны забросили на вертолете из Белушьей Губы. Теперь эту соль нужно было засыпать и растворить в бассейне в глубине горы. На устье соорудили котел с подогревом от костра, от котла

протянули трубопровод длиной около 1,5 км. Прямо к бассейну. Два матроса под руководством лейтенанта начали засыпать и растворять соль в котле. В трубопроводе образовались воздушные пробки, и вода в бассейн не пошла. Матросы работали всю ночь. Утром подъезжаю к штольне. Ко мне бросился лейтенант, сильно встревоженный и злой. Матросы заснули, котел прогорел и вся вода с растворенной солью вытекла из трубопровода, так и не дойдя до бассейна. На вопрос, сколько вытекло, лейтенант сказал, что почти вся. По мере того, как доклад поднимался выше, количество пропавшей (вытекшей) соли уменьшалось, и адмиралу доложили, что пропало примерно 10 % соли.

Что делать? Время уже поджидает. Отобрали у полка охраны 1200 кг соли, оставив минимум для еды. Тут уж я отказался от механизации и попросил, чтобы горняки транспортировали тележки с водой к бассейну. А там соль вручную перемешивали до растворения и раствор выливали в бассейн. К этому времени я не спал более двух суток и попросил только что прилетевшего на полигон моего коллегу Славу Шемякина проследить за процессом. И вообще не доверять военным, а растворять самим. Слава нашел двух добровольных помощников. Они работали всю ночь и все сделали. Утром Слава мне доложил, что мужики, работавшие с ним, просто замечательные, всю ночь травили анекдоты, и было весело. «Что, и антисоветские?» (это же были советские времена!). «Ну конечно», – ответил Славик. Позже я узнал, что эти двое были особист и парторг экспедиции. Славик этому не обрадовался, но все обошлось, конечно. Это действительно были хорошие мужики, да и времена уже наступали другие.

Еще одна история просто замечательная! Я летел на Север сразу с тремя зарядами. Четвертый заряд был не мой, проверялся заряд из боезапаса. Хозяин четвертого (Володя Лебедев) попросил меня как теоретика проследить за этим четвертым. Ему ехать с этим простым испытанием не хотелось. Ну а мне, при своих трех сложных, добавляется один простой в стандартной постановке измерений, разница небольшая. И я согласился. Итак, в большом помещении, рядом с устьем штольни, началась окончательная сборка зарядов. Каждая сборка проходит, как всегда, под строжайшим неусыпным контролем. По журналу вслух зачитывается каждая операция, выполняет один, а наблюдают и контролируют несколько человек (руководитель экспедиции, мастер по сборке, собственно

сборщик, военпред, теоретик). На каждый заряд уходит около трех часов. Последним собрали тот, четвертый. Работали непрерывно более 12 часов. Все выдохнули с облегчением. Бригада по сборке весело и быстро упаковывала аппаратуру, собирала инструменты, складывала в угол пустую тару.

Вдруг один сборщик берется за ящик, застывает, поднимает на нас глаза и говорит: «А здесь что-то лежит!». Ошарашенное молчание. У нас каждый вздох при сборке расписан, все строго по журналу сборки. А тут такое! Просим распаковать ящик. Вытащили приличных размеров свинцовый диск с несколькими отверстиями в нем разного размера и в разных местах. Вообще-то на сборке теоретику делать нечего. Он там не нужен, лишний. При условии, если все идет «без сучка и задоринки». Но как только что-нибудь неординарное, тут же спрашивают теоретика. Все присутствующие повернулись ко мне. В это мгновение я знал не более их, то есть ровным счетом ничего. Сказал: «Буду думать 30–40 минут. А пока все свободны, но остаются здесь» (а вдруг придется разбирать заряд).

Размышлял я минут тридцать. Место диска определялось внутренней структурой заряда. Я догадался, что его собирались поставить для того, чтобы сместить ближе к центру бокса центр взрыва заряда в сферическом боксе с целью уменьшения погрешности измерений. С Саровом связи в те времена не было. Приходилось принимать решение самому. Если я распоряжусь, заряд разберут, под мою ответственность (документация на постановку отсутствует!) поставят эту свинцовую перегородку и вновь заряд соберут. Это потеря часов 10, а время сильно поджимает, и этот диск дает малую поправку к результату. Я распорядился закатывать все четыре заряда в штольню. В этот момент я исходил только из интересов дела и готов был взять ответственность на себя. И много времени спустя я понял, что вообще не имел права распорядиться вставить диск, поскольку всякое изменение конструкции заряда требует разрешающей подписи главного конструктора. Потом в Сарове все мои догадки подтвердились. В последний момент перед отправкой у теоретиков возникла идея лучшей сферизации взрыва,



Новая Земля. Пролив Маточкин Шар

для чего быстро изготовили диск, но в спешке забыли внести его в журнал сборки.

Эта история напомнила мне шутку в полярной экспедиции Папанина на Северный полюс. Тот обожал собирать и разбирать личный пистолет. В один из таких моментов коллеги его отвлекли и подбросили лишнюю деталь. А потом давились от хохота, когда Папанин несколько часов собирал и вновь разбирал пистолет, и каждый раз при этом оставалась лишняя деталь. Но это же пистолет, а тут стратегический ядерный заряд! Так что вот эта фраза «А здесь что-то лежит!» и застывший с ящиком в руках сборщик, с недоумением глядящий на нас, запомнились мне на всю жизнь.

Одно воспоминание также связано с Севером. Когда наша экспедиция приехала на опыт, выяснилось, что километра два в окрестности входа в нашу штольню загрязнены предыдущим испытанием. Загрязнение небольшое, но режим предстоящих работ требовал тщательного анализа. Собралась Госкомиссия. Стали обсуждать, как нам безопасно работать в этой ситуации. Решили: нигде по загрязненной территории не гулять, обмывать сапоги по прибытии на корабль, внутренность фургонов выстелить полиэтиленовой пленкой. Составили открытую телеграмму директору нашего института такого содержания: «Для проведения работы просим выслать 500 пар бахил (полиэтиленовая защитная обувь), 200 кг полиэтиленовой пленки и 200 кг сверху (имелся в виду спирт)». В ответ получили: «500 пар бахил, 200 кг пленки и 200 кг сверху высылаем».

Однажды произошла комичная история. В процессе подготовки к опыту для одной из методик экспериментаторы устанавливали на пути излучения предстоящего ядерного взрыва стакан с тяжелой водой (дейтерий вместо водорода). Тяжелая вода была смешана со спиртом. Однажды экспериментаторы, уходя на обед, забыли спрятать этот стакан. Когда пришли с обеда, стакан был пуст. Один из горняков почуял запах спирта и тут же, проходя, выпил содержимое. Руководитель эксперимента был в ужасе. От стакана тяжелой воды не отравишься, но где на Новой Земле возьмешь тяжелую воду? К счастью в запасе было 100 граммов этой воды, и этого было достаточно. В противном случае пришлось бы за ней посылать на Большую Землю самолет. Прохожу как-то по штольне. У концевых боксов, куда будут устанавливать заряды, стоят на карауле солдаты. Уже установлены трубы, по которым будет выведено на поверхность излучение ядерного взрыва. Я крикнул в трубу. В ней возникла затухающая стоячая звуковая волна: «А.., а.., а.., а...». Пошел дальше. Когда возвращался обратно, два солдата (пацаны же еще!) самозабвенно «акали» в оба конца трубы.

Был у нас еще один маленький полигон недалеко от Ахтубы, километрах в 30 на восток от пос. Харабали на территории Казахстана. Он принадлежал нашему институту, и его «выбил» Л. Д. Рябев. Хозяином полигона был начальник нашего отделения испытателей Иван Федорович Турчин. Все люди на полигоне свои. Полигончик был очень уютный и без множества верхних административных надстроек, что позволяло оперативно проводить испытания. Опыты там проводились в подземных соляных полостях, образованных предыдущими ядерными взрывами и впоследствии заполненными водой. В одной такой полости проводили по несколько последовательных испытаний. Один из моих взрывов был в полости шестым. После испытания мы вдвоем с Иваном Федоровичем отправили сообщение о том, что опыт прошел удачно.

Я попросил Турчина дать нам автобус на денек, пока экспериментаторы обрабатывают показания измерений, чтобы отдохнуть на Ахтубе. Поехали человек восемь. Было среди нас двое рыбаков (я в том числе). 28 сентября. Великолепный теплый день. Помню потрясающее зрелище: четырех плавающих лебедей в озере на фоне зеленых камышей и голубого неба. Устроили шикарный ужин: жареная рыба на четырех противнях, ведро шурпы (чудовищно наваристый суп из мяса сайгака), море арбузов и спирт. И вот мы лежим

на берегу реки, лунная дорога на реке, звезды, тепло и тишина. Говорим о жизни, философствуем, а перед нами разыгрывается картина полного лунного затмения. Красота! По приезде домой узнал, что в Сарове в эти дни был ветер, дождь, холодно и никакого затмения не было видно.

В дождливое время вокруг скважины было довольно грязно. Только вокруг устья скважины установили деревянный помост. Однажды я был председателем комиссии, которая проверяла готовность заряда к испытаниям. После опыта меня очень сильно удивило большое количество органических материалов в полости взрыва. Откуда? Мне объяснили: «Ну грязный ватник! Куда его девать? Конечно, бросить в скважину. Осталось в бочке немного масла – его в скважину! И т. п.».

Перед каждым испытанием метеорологи внимательно изучали предстоящую погоду, особенно направление ветра. Недопустимо было направление ветра на наш поселок, поскольку скважина располагалась близко от поселка. Накануне опыта пригласили очень опытного специалиста из волгоградского аэропорта. Как назло, ожидаемое направление было очень близко к запретному сектору. И за полтора часа ветер стал дуть прямо на поселок. Как же бедный метеоролог переживал! Но ближе к моменту «0» ветер слегка отвернул.

Судьба этого полигона решилась быстро. Новый наш директор Е. А. Негин полигон не очень жаловал. Когда он приехал к первому секретарю обкома Западно-Казахстанской области, этот восточный царек развернулся во всей красе, и стал говорить, что они еще посмотрят, сколько им платили за землю и нужно ли продолжать работы на полигоне. Негин резко ответил, что не тому решать. Царек взвился, заявил, что Негина выгонят с работы за такое оскорбительное неуважение. Негин хмыкнул и ответил, что если его выгонят, не беда – он академик и генерал-лейтенант. А вот царьку, если он лишится работы, будет худо. С тем повернулся к выходу. Местный бонза совершенно не ожидал такой реакции: «Ну что же Вы так сразу! Давайте обсудим!». Негин обсуждать не стал и ушел. На том полигон и кончился.

К тому времени запрет на проведение ядерных испытаний уже буквально висел в воздухе.

ЖИХАРЕВ Станислав Степанович –
главный научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор физ.-мат. наук

Начало исследований «рихтмайеровской» неустойчивости во ВНИИЭФ

Е. Е. МЕШКОВ

После окончания в 1960 г. МИФИ и поступления во ВНИИЭФ я попал в отдел 21 сектора 3 (сейчас ИФВ), которым руководил Александр Сергеевич Козырев. Отдел в это время переживал необычайный подъем. В начале 1960-х гг. существовала уверенность в возможности скорого достижения зажигания термоядерного горючего в фокусе сферического заряда ВВ – позднее это направление работ получило название газодинамический термоядерный синтез (ГДТС). Этому способствовало значительное (на несколько порядков) повышение нейтронного выхода в экспериментах на сферических зарядах с применением слоистой кумулирующей системы Забабахина (или как ее называли «слойки»), достигнутое недавно. И казалось, что новые усовершенствования приведут к быстрому успеху. И это всем казалось, не только Козыреву.

Одно из направлений работ по ГДТС этого времени – попытка решить проблему путем применения в качестве слоев слоистой системы некоторых экзотических материалов. Инициатором этого направления был Иван Григорьевич Проскурин, сотрудник отдела 25. Отдел 25, в котором также велись работы по ГДТС, был для нашего отдела конкурентом. Проскуру удалось добиться некоторого успеха. Впрочем, этот успех нами оспаривался, и в нашем отделе была проведена серия экспериментов с различными материалами в слойке (совсем не экзотическими), и результаты этих опытов подвергали сомнению результаты Проскурина. С другой стороны, они указывали на возможность суще-

ственного влияния гидродинамических неустойчивостей на процессы кумуляции ударной волны в слойке.

Но это была только гипотеза. А как ее проверить? Как «заглянуть» внутрь слойки, расположенной в сферическом заряде ВВ массой более 200 кг во время взрыва этого заряда? Именно в это время (конец 1963 г.)

и в связи с описанными событиями у меня родилась мысль использовать для исследования задачи о влиянии на процессы кумуляции в слоистой системе, как тогда ее у нас называли, «рихтмайеровской» неустойчивости, ударную трубу, в которой слоистая система создавалась бы из газов разной плотности, разделенных тонкими пленками. «Рихтмайеровской» неустойчивость называлась по имени американского математика Роберта Рихтмайера, который опубликовал свою работу в 1960 г. (Richtmyer R. D. (1960). Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids. Commun. Pure Appl. Math. V. 13, 297). Эта работа в описываемые времена приобрела во ВНИИЭФ широкую известность.

Во многих отношениях для начатой работы обстоятельства складывались благополучно. Незадолго до описываемых событий в 1962 г. вышел сборник переводов «Ударные трубы». Он содержал большой объем статей, в которых можно было найти практически все необходимые сведения для выбора конструкции ударной трубы и расчета параметров течения в ней. Эта книга была для меня настольной на протяжении многих лет. Схему своей ударной трубы я скопировал из этой книги, из статьи известного исследователя Шардина, который подробно, с немецкой аккуратностью, описал свою трубу. И, в общем, я не ошибся в своем выборе, во многих отношениях эта конструкция оказалась удобной в работе. На ней было выполнено огромное число экспериментов. И до сих пор эта ударная труба работает.

Другой большой удачей для меня была находка теневой установки ИАВ-451. Случилось это следующим образом. В подвале под лестницей нашего здания сектора 3 стояли два загадочных преогромных длинных ящика, к тому же окованных железом. Меня мучило любопытство – что же за «сокровища» скрываются в этих ящиках? И вот я вдруг случайно узнал, что в этих ящиках действительно скрывается сокровище именно для меня – теневая установка ИАВ-451 – как раз то, что мне было необходимо для визуализации течения в ударной трубе. Как выяснилось, эту установку получил С. А. Новиков еще в 1956 г. для какой-то работы, но по-



А. С. Козырев



Ю. Д. Лавровский

том оказалось, что есть более срочная работа, потом другая, и в результате установка мирно почивала многие годы, дожидаясь своего часа. И, наконец, дождалась; с тех пор и до сего времени установка находится в работе.

Несомненной удачей было и то, что в отделе нашлась для создаваемого комплекса комната площадью около сорока

квадратных метров (это была комната № 4 на третьем этаже).

Благоприятной была и атмосфера, в которой развивалась эта работа. Козырев поддержал мою инициативу. Начальником группы, в которой я работал, был Юрий Дмитриевич Лавровский – ученый и доброжелательный человек, оставивший в памяти всех, кто с ним работал, самые теплые воспоминания. Он постоянно поддерживал мое начинание и практически не вмешивался в мои действия.

Но вместе с тем были и трудности. И трудности немалые. В то время во ВНИИЭФ не было еще ни одной ударной трубы, и набираться опыта работы с такой установкой можно было только из книг и статей. В течение двух лет мне пришлось самостоятельно решать целый ряд методических задач: подобрать материал для диафрагмы ударной трубы; разработать схему оптического сочленения теневой установки и регистрирующей камеры СФР; разработать метод синхронизации работы ударной трубы и камеры СФР; отработать методику получения тонкой (менее 1 мкм) полимерной микропленки; разработать методику заполнения отсеков измерительной секции ударной трубы, разделенных тонкими микропленками, и контроль чистоты газов в отсеках; разработать методику задания возмущений на исследуемой границе; потребовалась также разработка ряда устройств: блока питания лампы вспышки ИФЖ-120 и т. д.

В середине 1965 г. в цеху нашего сектора были изготовлены узлы ударной трубы (конструкцию которой разработал Борис Кодола), на экспериментальной площадке № 19 была изготовлена деревянная подставка под ИАБ-451, и можно было приступать к монтажу установки. Маленькая работа начинается с большого перекура – и с начала лета все узлы ударной трубы лежали вдоль стен комнаты № 4, посредине сто-

ял стол с сеткой, и весь отдел резался в пинг-понг. А я ходил по комнате и терзался мыслью: «Зачем я ввязался в эту историю?! Зачем мне это было надо?! И что я теперь буду делать?! Ходил бы я как обычно в подвал к Васе Сергиенко, собирал бы себе слойки для очередного опыта, ездил бы на площадку, участвовал бы в подрыве очередного заряда и получал бы очередную порцию талонов на обед». Но слезами горю не поможешь. И после возвращения из отпуска я приступил к работе. К тому же в начале октября у меня появился постоянный помощник – Коля Дерюгин, который в этом году окончил школу и поступил в качестве лаборанта в наш отдел.

Надо сказать, что работа, которой я занимался, для большинства сотрудников отдела представлялась (на фоне основных работ отдела) каким-то пустяком, а сам я чем-то вроде отдельного ненормального (тем более, что в эти годы в свободное время я усердно занимался живописью, и всем это было известно). Но надо сказать, что практически все ко мне относились с симпатией и с интересом наблюдали за этой историей.

Ю. Д. Лавровский в это время был заместителем начальника нашего отдела, у него и без меня была масса дел, но он всегда при необходимости приходил ко мне на помощь. Помогали и другие сотрудники отдела – начальник группы измерителей Вячеслав Викторович Новиков относился ко мне доброжелательно и направлял ко мне сотрудников своей группы: И. Дудина, Н. Мунина, С. Щукина. Но измерительная группа находилась на первом этаже нашего здания, а моя комната № 4 – на третьем. И поэтому я чаще обращался за помощью к соседям – сотрудникам группы Сергея Михайлови-



Установка с ударной трубой, ИАБ-451 и камерой СФР в комнате № 4

ча Бабадея: Игорю Будникову и Геннадию Красовскому. Один из них был лаборантом, другой техником, оба примерно моего возраста, их комната находилась рядом, через коридор напротив нашей комнаты, и при необходимости я всегда мог обращаться к ним за помощью и консультациями по разным техническим вопросам, а они охотно шли мне навстречу, может быть еще и потому, что им и самим было интересно то, чем я занимался. Надо сказать, что И. Будников, будучи всего лишь лаборантом, был весьма сведущ в разных областях электротехники и оптики и недаром получил в отделе прозвище Кулибин; в свою очередь, Г. Красовский свободно ориентировался в высоковольтной технике того времени.

Скоро сказка сказывается, но не скоро дело делается. И половина 1965 г. и почти весь 1966 г. ушли на решение методических задач и подготовку к проведению опытов на ударной трубе. И вот в начале четвертого квартала 1966 г. Козырев, которому надоело наблюдать второй год эту непонятную возню в комнате № 4, и у которого лопнуло терпение, записал мне в квартальный план работ выпуск отчета и предупредил, что, если не будет результата, он закроет мою лавочку.

Неожиданно ушел от меня на более выгодную работу Коля Дерюгин, а на смену ему в октябре пришел новый лаборант Вася Кручинин, и тоже после окончания школы. И вот мы с Васей принялись выполнять грозное указание Козырева. Мы старались изо всех сил, но дело у нас пошло только в декабре. Надо сказать, что я вначале планировал исследование работы газовой слоистой системы – системы слоев газа разной плотности, разделенных тонкими пленками. Но здесь я осознал, что не успеваю решить указанную задачу к заданному сроку и поэтому решил упростить задачу – исследовать неустойчивость границы между двумя газами, ускоряемой ударной волной. Такой вариант постановки задачи был описан в расчетно-теоретической статье Рихтмайера, опубликованной в 1960 г. В своей статье он рассматривал случай развития начальных возмущений границы между двумя газами разной плотности, после ускорения ее ударной волной в направлении от менее плотного газа к более плотному, а случай ускорения границы в противоположном направлении он почему-то в своей статье не рассматривал. Надо сказать, что в описываемое время существовало твердое убеждение, что в этом случае, по аналогии с неустойчивостью Рэлея – Тейлора, граница должна

быть устойчивой. Так думали все, я не был исключением, и поэтому только в двадцатых числах декабря я решил провести такой опыт, просто на всякий случай. И вот где-то за неделю до Нового года мы с Васей такой опыт провели. Это был опыт, в котором ударной волной ускорялась граница между углекислым газом и воздухом. Был уже конец дня, Вася ушел домой, я принес из фотолаборатории еще мокрую после проявления фотопленку, полученную в опыте, и стал ее рассматривать в свете настольной лампы.

То, что я увидел, было для меня неожиданно, как удар грома, – после ускорения ударной волной амплитуда возмущения границы сначала уменьшилась до нуля, а затем после изменения знака амплитуда возмущения начала безостановочно расти. Для меня это было неожиданно, но я мгновенно осознал значение этого факта... Воспоминание об этом мгновении до сих пор заставляет учащенно биться мое сердце.

До конца года мы с Васей провели еще одну серию опытов, я успел написать отчет и сдал его в печать. На квартальном отчете С. Б. Кормер похвалил мою работу и порекомендовал напи-



Наша группа в 1968 г. (фотография с секторской доски почета). Верхний ряд: Т. Куманева (Кораблева), Е. Мешков; нижний ряд: В. Кручинин, А. Мунин

сать статью, отчет занял третье место на конкурсе. Так одним махом моя работа вместо закрытия получила развитие. У меня появился еще один лаборант – Саша Муни, позднее пришла Таня Куманева (позже Т. В. Кораблева), и в таком составе группа проработала до 1969 г.

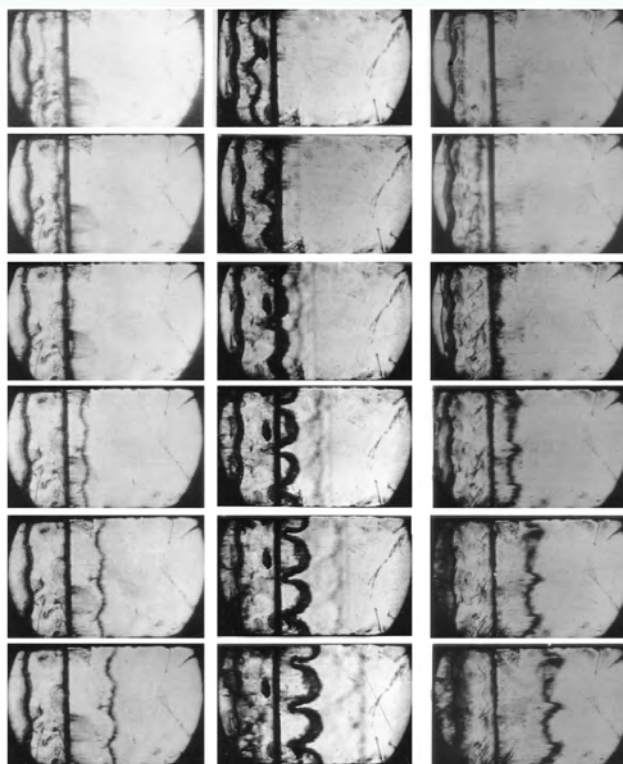
За это время была усовершенствована конструкция измерительной секции трубы, получила развитие методика работы на ударной трубе, были разработаны искровой источник света и методика работы с ним. Написана статья по результатам экспериментов 1966 г., она была опубликована в 1969 г. (Мешков Е. Е. Неустойчивость границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной // Изв. АН СССР, МЖГ. № 5, с. 151–158). Эта статья была переведена на английский язык и получила широкую известность (в настоящее время неустойчивость границы двух сред разной плотности, ускоряемая стационарной ударной волной в современной литературе чаще всего именуется неустойчивостью Рихтмайера – Мешкова).

На рисунках ниже приведены серии теневых фотографий течения газов в ударной трубе в последовательные моменты времени, снятые поперек ударной трубы.

Этот успех вдохновил меня: неожиданно я понял, что в моих руках появилась методика, которая позволит решать многие задачи, представляющие интерес для ВНИИЭФ.

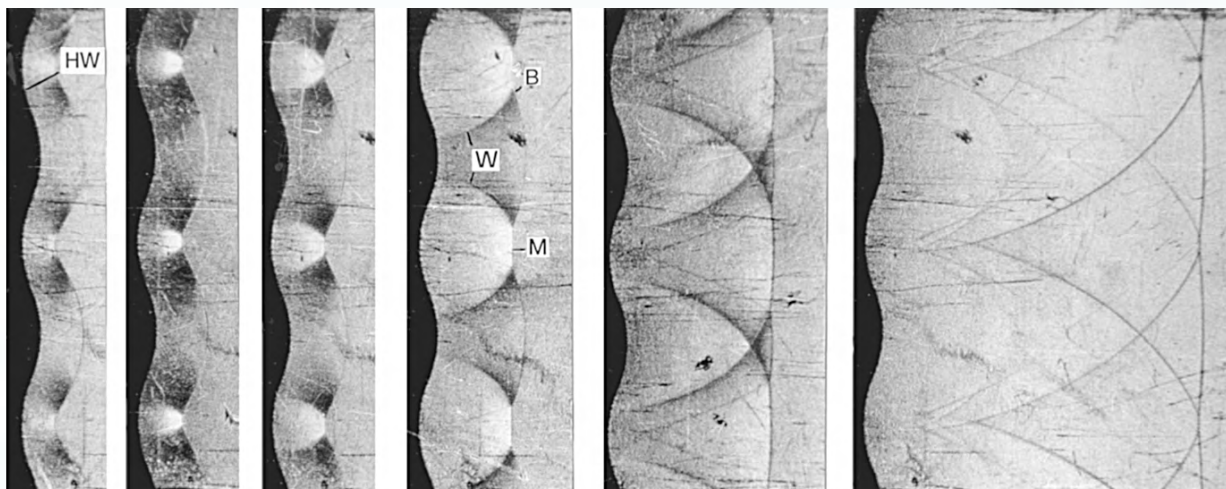
Последовал ряд исследований на ударной трубе явлений, так или иначе связанных с неустойчивостью, индуцированной ударной волной:

- развитие возмущений фронта ударной волны, отраженной от волнистой стенки;

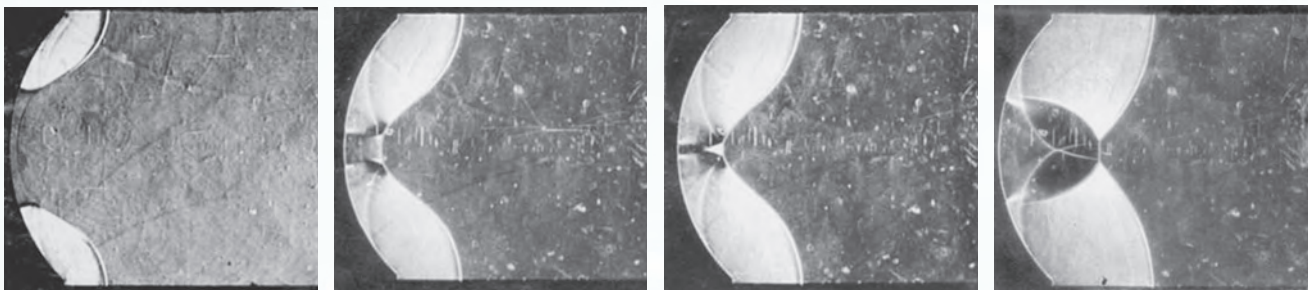


a *b* *c*

Развитие синусоидального возмущения ($\lambda = 40$ мм) границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной (время увеличивается сверху вниз): *a* – воздух ($\rho_0 = 1,2$ г/л) → углекислый газ ($\rho_0 = 1,8$ г/л); *b* – гелий ($\rho_0 = 0,17$ г/л) → фреон-22 ($\rho_0 = 3,6$ г/л); *c* – углекислый газ → воздух. В первых двух случаях ударная волна ускоряет границу в направлении от легкого к более тяжелому газу, при этом возмущение растет, не изменяя знака. В случае *c* ударная волна проходит границу от тяжелого к легкому газу, при этом возмущение также неограниченно растет, но изменив при этом фазу на обратную



Отражение стационарной ударной волны от жесткой волнистой стенки. Жесткая стенка слева (HW), время увеличивается слева направо



Отражение плоской ударной волны от жесткой вогнутой стенки. Жесткая стенка слева, время увеличивается слева направо

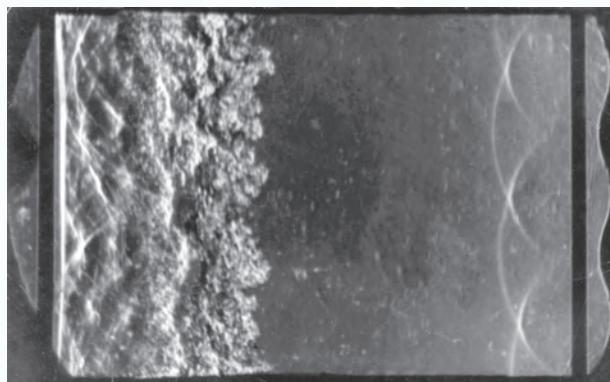
- исследование нелинейных эффектов, связанных с развитием возмущений ударных волн и ограничения, накладываемые ими на применимость линейного приближения на исследования задач, связанных с развитием возмущений в газодинамике (Е. Е. Мешков, В. Н. Мохов, 1982. О критерии применимости линейного приближения в задачах о развитии малых возмущений в газодинамике // ФГВ, № 4, с. 93–96).

Возмущение фронта ударной волны подобно стоячей волне, колеблясь, затухает, и одновременно можно наблюдать, как форма фронта отраженной волны с течением времени отклоняется от синусоидальной. Это проявляется в образовании точек излома на фронте волны, одновременно формируются разрывы на фронтах поперечных волн в потоке за фронтом отраженной волны.

Следующим шагом было исследование эффекта локальной кумуляции, возникающей при отражении ударной волны от жесткой вогнутой стенки (Е. Е. Мешков, 1970. Отражение плоской ударной волны от жесткой вогнутой стенки // Изв. АН СССР. МЖГ, № 4, с. 33).

При отражении ударной волны от вогнутой стенки наблюдается образование и симметричное схождение цилиндрической ударной волны, которое прерывается столкновением на плоскости симметрии тангенциальных волн сжатия или ударных волн; при этом (судя по $X-t$ диаграммам) резко возрастает скорость отраженной от стенки ударной волны. Формируется область концентрации энергии, ограниченная приблизительно плоским участком волны (волна Маха) и поперечными расходящимися ударными волнами. Давление в этой области может возрастать в разы, соответственно возрастает температура (в некоторых научных кругах эта работа более известна, чем исследование неустойчивости).

В ноябре 1968 г. были выполнены эксперименты, давшие позднее толчок к развитию исследований турбулентного перемешивания в 1970-е гг., после того В. В. Никифоровым стали разрабаты-



Первые эксперименты, в которых наблюдалось турбулентное перемешивание на границе двух газов (воздух – гелий), ускоряемой ударными волнами (ноябрь 1968 г.)

ваться полуэмпирические модели турбулентного перемешивания (В. А. Андронов, С. М. Бахрах, Е. Е. Мешков, В. Н. Мохов, В. В. Никифоров, А. В. Певницкий, А. И. Толшмяков, 1976. ЖЭТФ, т. 71, вып. 2(8), с. 806–811).

Первые эксперименты, в которых наблюдалось турбулентное перемешивание в экспериментах на ударной трубе были выполнены еще в 1968 г., но долгое время их результаты не публиковались, поскольку тогда не была ясна роль пленки в этих экспериментах и степень ее влияния на развитие зоны турбулентного перемешивания в экспериментах на ударной трубе. Позднее было установлено, что в этих экспериментах роль начального возмущения играет разнотолщинность (и следовательно разномасовость) пленки. Существенной также является эластичность пленки

В 1969 г. в отдел и в нашу группу перешел Б. Клопов, а в 1970-м после окончания МИФИ к нам попал А. И. Толшмяков, и тематика работ в группе существенно расширилась.

МЕШКОВ Евгений Евграфович –

зав. учебно-исследовательской гидродинамической лабораторией СарФТИ, кандидат физ.-мат. наук

В большой ядерной энергетике нет альтернативы замкнутому торий-уран-плутониевому топливному циклу

В. Е. МАРШАЛКИН



В. Е. Маршалкин

Одним из наиболее эффективных путей технического прогресса и совершенствования изделий является выбор материала с наиболее подходящими для этого изделия свойствами. Как правило, эволюция материалов проходит путь от существующих в природе до искусственно получаемых. Например, смена топливных материалов от

дров, каменного угля, нефти, нефтепродуктов, газа, ядерных материалов сопровождалась расширением возможностей их использования: от индивидуального обогрева и приготовления пищи до сооружения крупных тепловых станций для обеспечения энергией всей инфраструктуры больших городов, создания удобных видов индивидуального транспорта, возможностей перевозок на большие расстояния железнодорожным, морским, авиационным транспортом и так далее. Если проанализировать историю технического прогресса, то можно обнаружить, что наиболее значимые этапы этого развития связаны именно со сменой материалов.

Делящиеся материалы первого поколения.

Применительно к ядерной энергетике имеет место следующая ситуация. В природе есть только один химический элемент уран, который содержит в своем составе ~0,7 % делящийся нейтронами любой энергии изотоп ^{235}U . Поэтому в процессе реализации атомных проектов в США и СССР для получения оружейных материалов необходимо было разработать технологии обогащения урана изотопом ^{235}U , а также наработки изотопа плутония ^{239}Pu на естественном уране в созданных для этого реакторах.

Наработаны большие количества высокообогащенного урана и плутония оружейного качества. Адаптация реакторов-наработчиков плутония для производства энергии породила ядерную энергетiku в так называемом открытом

уран-плутониевом топливном цикле (отработавшее топливо поступает на хранение и захоронение), которая и эксплуатируется в настоящее время. Современная ядерная энергетика до сих пор использует изотопы ^{235}U , ^{238}U и продолжает безуспешно осваивать в течение полувека изотоп ^{239}Pu , то есть она работает на первом поколении ядерных материалов.

Наряду с несомненными успехами и возможностями современной ядерной энергетики выявлены тяжелые проблемы, от решения которых зависит ее дальнейшее развитие и место в обеспечении человечества энергией. В современных тепловых реакторах реакцией деления, определяющей энерговыделение, сжигается ~0,5 % добываемого урана, что ограничивает топливный ресурс ядерной энергетики. При этом ~10 % добываемого урана переводится в облученное ядерное топливо, являющееся высокоактивным материалом, которое накапливается и осложняет на многие века экологическую обстановку. Высокий запас реактивности современных тепловых реакторов делает их ядерно-опасными системами. Кроме того, высокая (~1 % выгружаемого топлива) наработка плутония создает предпосылку распространения расщепляющегося материала для несанкционированного изготовления ядерных взрывных устройств. Таким образом, прошедшие полвека убедительно показали тупиковый путь дальнейшего развития ядерной энергетики на основе используемых делящихся материалов первого поколения и открытого уран-плутониевого топливного цикла.

С середины 1950-х гг. принято считать, что решение этих проблем заключается в переводе ядерной энергетики на замкнутый уран-плутониевый топливный цикл (отработавшее топливо перерабатывается, и актиноиды возвращаются в реактор при последующих загрузках) с использованием реакторов на быстрых нейтронах. Предполагается, что на этом пути удастся обеспечить экономическую эффективность, высокую безопасность, экологическую приемлемость, нераспространение расщепляющихся материалов

и ядерных технологий. Однако, как показала история развития отрасли, реализация этой физически правильной идеи оказалась чрезвычайно трудной. Несмотря на усилия специалистов нескольких поколений и многомиллиардные долларовые затраты (~100 миллиардов долларов) в странах с развитой ядерной энергетикой достичь замыкания топливного цикла по плутонию до сих пор не удалось.

Из-за трудностей обеспечения безопасной работы закрыт французский «Суперфеникс», остановлены быстрые реакторы в Японии. Российские реакторы БН-600 и БН-800 работают на высокообогащенном уране, а не на смешанном оксидном уран-плутониевом топливе, и таким образом не полностью оправдывают свое предназначение. Проект Росатома «Прорыв» из-за трудностей решения технических проблем быстрых реакторов преобразован в двухкомпонентную ядерную энергетiku (парк из тепловых и быстрых реакторов и замыкание топливного цикла) с разорительным бюджетом и отсутствием надежды на успех.

По нашему мнению, жесткий спектр нейтронов и малопригодные для отрасли физико-химические и нейтронно-ядерные свойства ^{239}Pu , используемого в качестве основного делящегося изотопа, не позволяют удовлетворить требованиям, предъявляемым ядерной энергетикой. Другими словами, делящиеся материалы первого поколения исчерпали свои возможности в открытом уран-плутониевом топливном цикле и не позволяют решить выявившиеся проблемы.

Делящиеся материалы второго поколения.

Все вышеупомянутые проблемы современной ядерной энергетики являются проблемами уран-плутониевого топливного цикла. Они могут быть кардинально решены путем использования изотопов тория (^{232}Th) и ^{233}U , в качестве основных реакторных материалов второго поколения и перевода ядерной энергетики на альтернативный замкнутый по всем актиноидам торий-уран-плутониевый топливный цикл. Использование ^{232}Th вместо ^{238}U в качестве сырьевого изотопа, основного делящегося изотопа ^{233}U вместо ^{235}U и ^{239}Pu , а также тяжелой воды вместо легкой воды в качестве теплоносителя и ее разбавление легкой водой во время работы реактора типа ВВЭР для поддержания его в критическом состоянии делают возможным самообеспечение топлива активными изотопами. На этой основе возможно замыкание торий-уран-плутониевого топливного цикла по всем актиноидам, в том числе и

после достижения их равновесного изотопного состава. Это позволяет повысить на ~2 порядка топливный ресурс, качественно упростить обращение с радиоактивными отходами, понизить ядерную опасность реактора типа ВВЭР, создать технологический барьер на пути распространения расщепляющихся материалов и ядерных технологий.

Начальный этап ториевой энергетики в России обеспечен торием, содержащемся в монацитовом концентрате Красноуфимского района Свердловской области. В ~80 000 тонн концентрата содержится ~5 % (~4 000 тонн) тория, который будет выделен попутно при переработке концентрата с целью выделения редкоземельных элементов. В природе тория содержится примерно в 3 раза больше, чем урана. Источником нейтронов на начальном этапе ториевой энергетики могут быть нейтроны деления высокообогащенного урана, реакторного плутония и излишков оружейного плутония, что представляется их наиболее разумным использованием. При использовании любых активных материалов для стартовой загрузки с торием в качестве сырьевого материала при рециклировании топлива в нем устанавливается один и тот же равновесный состав, характеризующийся понижением удельного содержания более тяжелых изотопов и элементов до уровня примесей.

Замкнутый торий-уран-плутониевый топливный цикл. Ниже иллюстрируются преимущества использования замкнутого по всем актиноидам торий-уран-плутониевого топливного цикла относительно используемого в настоящее время открытого и разрабатываемого замкнутого уран-плутониевого топливного цикла. Обосновывается целесообразность замены бесплодных усилий по разработке быстрых реакторов и двухкомпонентной ядерной энергетики в замкнутом уран-плутониевом топливном цикле на разработку использования изотопов ^{232}Th и ^{233}U в качестве реакторных материалов второго поколения и перевода ядерной энергетики на альтернативный замкнутый по всем актиноидам торий-уран-плутониевый топливный цикл. По сути дела предлагается заменить при переходе от открытого топливного цикла к закрытому не тип реактора (тепловой на быстрый), а делящиеся материалы ^{238}U , ^{239}Pu на более подходящие для ядерной энергетики ^{232}Th , ^{233}U , то есть перейти на материалы второго поколения.

На рисунке приведена схема наиболее вероятного изотопного преобразования сырьевого изотопа ^{232}Th в процессе работы реактора, ко-

нов деления в последующем поколении на поглощенный нейтрон в предыдущем поколении менее 2 для обоих изотопов ^{235}U и ^{239}Pu , и не могут обеспечить их воспроизводства в реакторах на тепловых нейтронах. В уран-плутониевом топливном цикле значения сечений радиационного захвата нейтрона $\sigma(n, \gamma)$ для изотопов ^{235}U и ^{239}Pu в разы больше, чем для изотопа ^{238}U . Появление ^{233}U в цепочке последовательно нарабатываемых изотопов и элементов на сырьевом тории качественно понижает удельное содержание актиноидов в облученном ядерном топливе, нарабатываемых на тории.

Таким образом, изотоп ^{233}U относительно использующихся в настоящее время и планируемых для использования в будущем изотопов ^{235}U и ^{239}Pu является наиболее подходящим для ядерной энергетики делящимся ядром. Следует отметить, что в радиационном захвате нейтронов ^{233}U одновременно теряются нейтрон и хорошо делящееся ядро ^{233}U , что обуславливает целесообразность ужесточения спектра нейтронов в тепловом реакторе.

На нарабатываемом изотопе ^{234}U в (n, γ) процессе нарабатывается последующий изотоп ^{235}U , делящийся нейтронами любой энергии. Его деление сопровождается улучшением нейтронного баланса и уменьшением наработки изотопа ^{236}U и других более тяжелых порогово делящихся ядер: ^{237}Np , плутония ^{238}Pu . Эти три ядра являются основными последовательно нарабатываемыми долгоживущими поглотителями нейтронов, препятствующими наработке делящихся нейтронами любой энергии изотопов ^{239}Pu , ^{241}Pu . Деление изотопов ^{239}Pu , ^{241}Pu практически заканчивает наработку последующих более тяжелых изотопов и элементов и улучшает нейтронный баланс в реакторе.

Следует подчеркнуть, что деление последовательно заселяемых ядер ^{233}U , ^{235}U нейтронами любой энергии является основным поставщиком энергии и нейтронов в реакторе. То есть, наиболее эффективно работающим является «укороченный» замкнутый торий-урановый топливный цикл с пониженной наработкой нептуния, плутония и других более тяжелых элементов, что позволяет замкнуть по всем актиноидам торий-уран-плутониевый цикл. Деление изотопов плутония является второстепенным источником энергии и нейтронов, но важным процессом ограничения наработки более тяжелых элементов. Дополнительным источником нейтронов в реакторе является деление порогово делящихся ядер ^{232}Th , ^{233}Pa , ^{234}U , ^{236}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{240}Pu

быстрыми нейтронами, а также короткоживущих ядер ^{237}U , ^{238}Np , ^{231}Th , ^{232}Pa при конкуренции с их распадом.

Другой замечательной особенностью замкнутого по всем актиноидам торий-уран-плутониевого топливного цикла является использование реактора типа ВВЭР с пониженным ($V_{\text{в}}/V_{\text{т}} < 2$) объемным водотопливным отношением, но с тяжелой водой в качестве теплоносителя и ее разбавления легкой водой в процессе работы реактора. Тяжелая вода относительно легкой воды обеспечивает экономию нейтронов, вместе с пониженным водотопливным отношением ужесточает их спектр, а разбавление легкой водой повышает реактивность топлива – удержание реактора в критическом состоянии. Наиболее высокое удельное содержание изотопа ^{233}U и других хорошо делящихся ядер в топливе при использовании в качестве теплоносителя тяжелой воды D_2O в стартовом состоянии реактора с пониженным водотопливным отношением в критическом состоянии может рассматриваться как запас реактивности системы без необходимости его компенсации поглотителями нейтронов.

Подмешивание легкой воды в теплоноситель является способом реализации этого запаса реактивности для поддержания реактора в критическом состоянии по мере выгорания реакцией деления стартовых ^{233}U и других делящихся нейтронами любой энергии ядер и наработки поглотителей нейтронов при соблюдении эффективной их экономии. Таким образом, найден способ (Патент на изобретение № 2541516, МПК G21C1 00, дата публикации 20.02.2015. Бюллетень № 5 за 2015 г., авторы – В. Е. Маршалкин, В. М. Пovyшев) обеспечения оптимальной нейтронной кинетики и эффективного изотопного преобразования в оксидном ^{232}Th - ^{233}U топливе водо-водяного реактора с расширенным воспроизводством изотопа ^{233}U и сравнительно простой реализацией.

Отсутствие обычно используемого запаса реактивности и его компенсации выгорающими поглотителями качественно экономит нейтроны и понижает ядерную опасность реактора. Сравнительно большой период полураспада протактиния ^{233}Pa ($T_{1/2} = 27$ суток), нарабатываемого на тории в процессе радиационного захвата нейтронов, и его β -распад с образованием изотопа ^{233}U стабилизирует работу реактора по мощности. Технологии использования воды (обычной и тяжелой) в качестве теплоносителя являются наиболее отработанными, а способность изме-

нения ее состава в процессе работы реактора со значимым изменением спектра нейтронов является уникальной.

Рециклирование ядерного топлива. В замкнутом по всем актиноидам торий-уран-плутониевом топливном цикле после каждого цикла работы все актиноиды отделяются от продуктов деления и распада и используются в качестве топлива для последующего цикла. Продукты деления и распада являются отходами ядерной энергетики, которые освобождены от актиноидов, что качественно облегчает обращение с ними. При загрузке того же реактора типа ВВЭР (с тем же водотопливающим отношением, с тяжелой водой в качестве теплоносителя и ее разбавлением легкой водой в процессе работы) восполняется выгоревший сырьевой торий и убираются или добавляются активные изотопы для обеспечения критического состояния реактора на этапе рециклирования топлива. При таком рециклировании топлива с самообеспечением активными изотопами оно выходит на равновесный изотопный состав вне зависимости от стартовых активных материалов (высокообогащенный уран, энергетический или оружейный плутоний).

Большое (~900 кг/т) удельное содержание тория в стартовых загрузках и промежуточный спектр нейтронов обуславливают непосредственное деление порогово делящихся ядер тория на уровне ~1,2 кг/т за каждые четыре года работы. Изотоп ^{233}U , нарабатываемый на тории, является основным делящимся изотопом. Его вклад в число разделяющихся ядер за время работы находится на высоком уровне ~47 кг/т даже в равновесном состоянии. Порогово делящийся изотоп ^{234}U , нарабатываемый на ^{233}U , делится только быстрыми нейтронами, и его вклад в число разделяющихся ядер за время работы в равновесном состоянии находится на уровне ~0,7 кг/т.

Следующим по величине вклада в число разделяющихся ядер за время работы (после ^{233}U) является активный изотоп ^{235}U , нарабатываемый на ^{234}U . Его вклад составляет ~4 кг/т. Далее в последовательном радиационном захвате нейтронов заселяются три долго живущие порогово делящиеся ядра ^{236}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , вклад которых в число разделяющихся ядер находится на уровне ~0,1; ~0,07; ~0,5 кг/т соответственно. Затем заселяются и делятся изотопы плутония ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , вклад которых в число разделяющихся ядер находится на уровне ~0,55; ~0,01; ~0,25 кг/т соответственно. Конечно, под-

вергаются делению быстрыми нейтронами и другие сравнительно долгоживущие изотопы элементов от урана до кюрия, но вклад их незначителен.

Представляется важным еще раз отметить определяющий вклад в число разделяющихся ядер за время работы в равновесном состоянии трех последовательно заселяемых изотопов урана ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U и самого тория. Их деление обуславливает возможность обеспечения положительного нейтронного баланса вследствие не только рождения нейтронов, но и понижения доли далее заселяемых ядер-поглотителей нейтронов ^{236}U , ^{237}Np . Именно на стадии прохождения изотопов ^{233}U , ^{234}U , ^{235}U трансмутируется реакцией деления подавляющая доля (0,94 %) сырьевых ядер ^{232}Th , испытывающих радиационный захват нейтронов. При этом вклад изотопов плутония находится на уровне ~2 %.

Радиоактивные отходы и нераспространение делящихся материалов. В замкнутом торий-уран-плутониевом топливном цикле актиноиды рециклируются, а их потери и попадание в радиоактивные отходы определяются возможностями переработки облученного топлива, уровень которой характеризуется величиной ~0,1 % для каждого элемента. Таким образом, при переработке одной тонны облученного топлива после каждого четырехлетнего цикла работы радиоактивные отходы будут содержать ~54 кг продуктов деления, ~0,8 кг тория, ~0,1 кг изотопов урана, ~0,005 кг изотопов плутония, ~0,002 кг нептуния и «следовые» значения изотопов америция и кюрия, что качественно упрощает обращение с высокоактивными отходами. Высокая эффективность использования ядерного топлива в замкнутом торий-уран-плутониевом топливном цикле и упрощение обращения с радиоактивными отходами в нем являются техническим результатом полученного патента (Патент на изобретение № 2634476, МПК G21C1 00, дата публикации 31.10.2017. Бюллетень № 31 за 2017 г., авторы – В. Е. Маршалкин, В. М. По-вышев).

На всех этапах топливного цикла имеет место технологический барьер на пути несанкционированного распространения расщепляющихся материалов в виде содержания радиологически опасного изотопа ^{232}U в уране и высокого нейтронного фона от четно-четных изотопов плутония в плутонии. Наличие жесткого γ -излучения продуктами распада ^{232}U упрощает контроль за перемещением такого топлива. В то же время в заводских условиях возможно обеспечение за-

щиты от этого излучения и понижения влияния его интенсивности путем изменения регламента обращения с ним.

Повышение длительности работы реактора без перегрузки топлива. Смена целевой задачи расширенного воспроизводства активных изотопов при рециклировании топлива в замкнутом торий-уран-плутониевом топливном цикле на задачу повышения длительности работы реактора без перегрузки топлива изучалась с использованием доступного материала в виде двуокиси высокообогащенного урана ($^{235}\text{U}_{0,9}$ $^{238}\text{U}_{0,1}$) O_2 и тория $^{232}\text{ThO}_2$. При этом для удельной мощности 211 Вт/см и разбавления тяжелой воды D_2O легкой водой H_2O наполовину обеспечивается возможность 11 лет непрерывной работы реактора, с глубоким выгоранием (~90 %) стартового изотопа ^{235}U и эффективной наработки (~40 кг/т) изотопа ^{233}U (Патент на изобретение № 2619599, МПК G21C1 00, дата публикации 17.05.2017. Бюллетень № 14 за 2017 г., авторы – В. Е. Маршалкин, В. М. Пovyшев). Понижение мощности в 2 и более раз сопровождается соответствующим повышением длительности работы реактора без перегрузки топлива.

Распадные и физико-химические свойства Th-U-Pu топлива. Распадные и физико-химические свойства Th-U-Pu топлива являются более подходящими для ядерной энергетики, чем U-Pu топлива. Вероятность спонтанного деления изотопов тория, урана и плутония повышается при переходе от тория к урану и особенно к плутонию вследствие понижения барьеров деления при таком переходе. Нейтронный фон от четно-четных изотопов плутония качественно затрудняет обращение со смешанным оксидным уран-плутониевым топливом. Обращение с Th-U-Pu топливом облегчается вследствие меньшего на ~2 порядка удельного содержания изотопов плутония. Температура плавления понижается при переходе от тория к урану и особенно к плутонию от 1750 °C к 1134 °C и к 639 °C соответственно. При этом понижаются значения теплоты плавления и теплопроводности. Переход от тория к урану и к плутонию сопровождается понижением их стабильности под нейтронным облучением.

Прототип. Вдохновляющим примером целесообразности развития этого направления являются создание, работа и результаты переработки отработавшего оксидного торий-уранового топлива водо-водяного реактора бридера (LWBR) в Шиппигпорте (США). Экспериментально показаны возможности:



В. Е. Маршалкин и А. Ю. Вахрушин в США

- достижения расширенного воспроизводства ($k_{\text{eff}} \approx 1,013$) ^{233}U в ^{232}Th - ^{233}U оксидном топливе;
- использования обычной воды в качестве теплоносителя;
- радиохимической переработки облученного топлива с выделением урана, содержащего радиологически опасный изотоп ^{232}U .

Это является экспериментальным доказательством возможности обеспечения расширенного воспроизводства ^{233}U в ^{232}Th - ^{233}U оксидном топливе в реакторах типа ВВЭР, практической реализации технологий замкнутого торий-уран-плутониевого топливного цикла.

Общий вывод состоит в том, что большая ядерная энергетика возможна только при переходе на делящиеся материалы второго поколения ^{232}Th и ^{233}U и замкнутый по всем актиноидам торий-уран-плутониевый топливный цикл. При этом требуется инженерная проработка обеспечения предложенного сценария работы реактора и технологий замкнутого торий-уран-плутониевого топливного цикла.

Автор и редакционная коллегия журнала обращаются с просьбой к специалистам, заинтересованным в развитии ядерной энергетики, дать заключение о предложенном направлении работ.

МАРШАЛКИН Василий Еромолаевич –

ведущий научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ, кандидат физ.-мат. наук, лауреат Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие топливно-энергетической и добывающей отраслей промышленности 2018 г.

Два времени Байкала

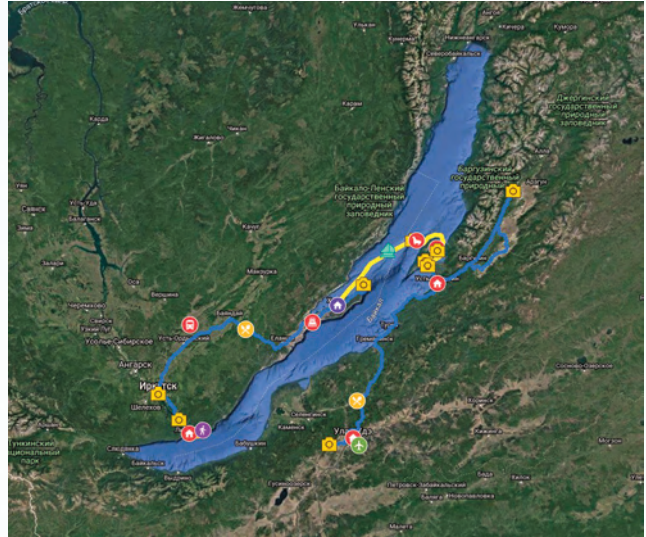
М. А. ВЛАСОВА, Ю. В. ВЛАСОВ, С. Ю. ВЛАСОВ

Идея посетить Байкал зимой зародилась даже раньше, чем мысль побывать на нем летом. Однако путешествие на Байкал в зимний период представлялось несколько авантурным, поэтому мы приняли решение предпринять его в летнее время. Клуб путешественников «Странник» помог нам воплотить в реальность нашу мечту. Это произошло в позапрошлом году в конце июля.

Наше летнее путешествие началось в Иркутске, откуда мы (группа из 9 человек, включая инструктора) на микроавтобусе переехали в поселок Листвянка. По дороге останавливались в поселке Тальцы. Познакомились с архитектурно-этнографическим музеем под открытым небом. В качестве развлечения походили на ходулях, как в детстве.

Поселок Листвянка расположен недалеко от истока Ангары. Здесь состоялось наше первое знакомство с Байкалом. Священное море в районе Листвянки в июле было приятно освежающим. На следующий день у нас состоялся пеший переход по Большой Байкальской тропе. Чтобы попасть на нее из Листвянки, необходимо сразу за нерпинарием («дельфинарий» для нерп – байкальских тюленей) повернуть налево на улицу Гудина, которая приводит к началу тропы, что мы и сделали.

Тропа ныряет в тайгу, проходит через перевал и, обойдя хребет, выходит к берегу. Большой частью идет вдоль берега, то поднимаясь,



Маршрут летнего путешествия

то спускаясь к воде. Примерно через двадцать километров выходим к поселку Большие Кóты. Название поселка с котами никак не связано, кóты (с ударением на первом слоге) – это арестантская деревянная обувь, которую здесь делали. Из всех мест, в которых мы побывали, в Кóтах самая холодная вода. Местные выразили большое удивление, когда мы поинтересовались, где здесь купаются. Переночевав в Кóтах, на следующий день мы добрались до Листвянки на катере за сорок минут.



Исток Ангары. Вид с Камня Черского летом (к сожалению, тут часто туман) и зимой



Песчаный пляж на острове Ольхон около поселка Хужир

Одна из достопримечательностей поселка Листвянка – это музей Байкала, а точнее Байкальский музей Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Научные сотрудники музея изучают особенности эволюции экосистемы озера. В аквариумах музея представлена фауна Байкала от мелких рачков до толстухек нерп. Вода в аквариумах проточная, поступает прямо из Байкала. На цокольном этаже здания музея находится сейсмостанция. Информация с сейсмодатчиков выводится на монитор компьютера, расположенный в одном из залов музея так, что данные о сейсмической активности доступны всем посетителям. На экраны выводятся показания с онлайн-камер, установленных на Ушканьих островах, в глубинах озера на пяти и двадцати метрах. Кстати, информация с этих камер доступна на сайте музея <http://www.bm.isc.irk.ru>. Мы с удовольствием прогулялись также по дендрологическому парку.

Сразу за музеем начинается дорога на гору Камень Черского высотой 728 метров над уровнем моря. Она названа в честь исследователя Байкала Яна Доминиковича Черского. Здесь находится смотровая площадка, с которой открывается вид на исток Ангары. На смотровой площадке толпятся туристы, фотографируются на фоне Байкала и Ангары. Правда, из-за тумана мы там практически ничего не увидели. За все время, пока мы там были, туман рассеялся лишь на несколько минут. Еще одна достопримечательность, доступная из Листвянки, – это Кругобайкальская железная дорога. Однако ее посещение не вошло в нашу программу.

После непродолжительного знакомства с Листвянкой, отправляемся на чудо-остров Ольхон. Дорога на Ольхон проходит через Тажеранскую степь. Материк и остров разделяет пролив Ольхонские Ворота шириной примерно один кило-

метр в самой узкой части. В летнее время попасть на остров возможно только на пароме. Недалеко от паромной переправы на возвышенности установлен памятник Бродяге (из песни «По диким степям Забайкалья», текст песни выбит на плите). Вокруг – изумительный вид на пролив и остров. Вода в проливе ярко-синяя.

На пароме пересекаем пролив.., и вот мы на Ольхоне. Самый большой поселок на острове – это Хужир, туда мы и направляемся. Из экологических соображений дороги на острове – сплошь грунтовые. Поэтому основное транспортное средство здесь – это УАЗ-452, в народе прозванный «буханка». То и дело на дорогу выскакивают суслики. Растительность минимальная – только выгоревшая трава и небольшие рожицы. Электричество на остров провели в 2006 г.

Первое место, куда мы отправляемся в Хужире – это, конечно, мыс Бурхан и скала Шаманка – место поклонения, место силы. Встреча рассвета на Хужире – это своеобразный ритуал. Незадолго до того, как первые лучи солнца коснутся Шаманки, к ней стекаются туристы: группами и поодиночке. С появлением первых лучей кто-то поднимает к небу руки, кто-то радостно кричит, есть и те, кто занимается йогой. Мы также приобщились к общему делу. Шаманка наиболее прекрасна именно на рассвете, в розовых лучах солнца. После того, как солнце выйдет из-за горизонта, все потихоньку расходятся.

Удивительно притягательны песчаные пляжи на Ольхоне. Ярко-желтый песок, редкие зеленые сосны на берегу и ярко-синяя вода Малого моря (так называется залив Байкала, омывающий Ольхон со стороны поселка Хужир). Горы на противоположном берегу кажутся рядом, хотя до них в самом широком месте 16 километров. Рассказывают, что в 2015 г. три медведя, спасаясь от лесных пожаров, переплыли с материка на Ольхон.

Мыс Хобой (с бурятского «клык») расположен на севере острова Ольхон. Это мегапопулярное место на Ольхоне: поток машин с туристами, обгоняя друг друга, направляется туда утром, а после обеда – обратно. Традиционная экскурсия на Хобой включает обед с ухой из местной рыбы. Путешествие на мыс Хобой заняло целый день. По дороге мы останавливались в разных красивых местах: песчаные пляжи, скалы Три брата, их рыжевато-красный окрас завораживает. Скала Дева произвела неизгладимое впечатление, с нее мы наблюдали за нерпами.

Часть следующего дня мы провели на озере Ханхой. Расположились на косе, где с одной стороны – Ханхой, а с другой – Байкал. Переходя косу, можно искупаться в разных водоемах. Вечером – баня на берегу Байкала с купанием в озере.

Незаметно пролетели дни на Ольхоне, и мы отправились на полуостров Святой Нос, который находится на противоположном относительно Листвянки – восточном берегу Байкала. По пути останавливались для купания в географическом центре Байкала. Под нами более километра воды. Наблюдали за нерпами. По пути также собираем сухие бревна, высаживаясь на берег, они нам понадобятся на полуострове, на нем нам предстоит переночевать две ночи. У берегов полуострова совсем мелко, и наш катер не может подойти к берегу. Поэтому забираем свои вещи и по колено в воде идем к берегу. Здесь неглубоко, поэтому вода хорошо прогревается, и это самое теплое место на Байкале. Ночуем в палатках в бухте Крестовая.

В четырех километрах от нашего базирования в бухте Змеиная находятся горячие источники. По живописной тропе вдоль берега мы отправляемся к ним. Здесь оборудовано несколько небольших ванн. Вода в них разной температуры. Катера привозят группы туристов прямо к источникам, поэтому тут довольно многолюдно. Люди занимают места в очереди, чтобы насладиться водами источников, набраться сил, оздоровиться.

На следующий день переход на катере в Монахово и выезд в Баргузинскую долину – одно из уникальных мест Забайкалья. По пути осматриваем Сувинские столбы, камень «Бухэ-Шулун», Ининский сад камней, Дацан богини Янжимы. Буддийский дацан сверкает красками, крыши на-

поминают вершины гор, желтого цвета. Необычная архитектура для человека, привыкшего к традиционным формам православных церквей и храмов, внутри буддийские иконы, огромная скульптура Будды, пожертвования, разноцветные ленточки. Во дворе можно пройти по тропинкам, совершив молитвенный обряд, вертя барабаны красного цвета с мантрами, выписанными санскритским шрифтом. На ветки деревьев повязаны разноцветные ленты, дань умершим предкам. Ворота, отделяющие территорию дацана от внешнего мира, украшены традиционным бурятским орнаментом на зеленом фоне. Рядом с воротами домик, где можно приобрести ленты для жертвоприношений. К вечеру возвращаемся в Усть-Баргузин.

В последнее утро нашего путешествия по Байкалу отправляемся купаться на окраину поселка. Место тут потрясающее, белый песок, сосны и никого.

Закончилось наше летнее путешествие знакомством с городом Улан-Уде. Одной из достопримечательностей этого города является памятник, представляющий собой голову Ленина, которая считается самой большой в мире. Мы посетили Иволгинский дацан. На его территории находятся буддийский университет, хижины монахов, дворец Хамбо-ламы Итигэлова. Дворец поразил нас своей неопишуемой красотой, его украшают резные фигурки божеств, символические орнаменты. Обошли вокруг ступ три раза на счастье. Побывали в Дугане Зеленой Тары. При входе нас приветствовали белоснежные львы с голубыми гривами. Побывали внутри, послушали рассказ о буддийской символике, которая украшает стены храмов, легенды о тех, кто изображен на иконах, об учении



Центральная улица поселка Хужир



Торосы

Будды, позолоченная скульптура которого присутствовала здесь же. В помещении надо было совершать обход слева направо лицом к объектам поклонения. Экскурсовод рассказала нам, что у буддистов почитается Екатерина Великая как воплощение Белой Тары на земле. Белая Тара – одна из форм просветленных существ (бодхисаттв).

Наше зимнее путешествие состоялось в 2019 г. Началось оно так же, как и летнее, в Иркутске, и снова с родным уже клубом «Странник». В зимнем туре мы двигались в обратном направлении: Иркутск – Ольхон – Листвянка – Иркутск.

Прилетели в Иркутск на один день раньше, чтобы познакомиться с городом. В прошлый раз у нас была обзорная экскурсия по городу, а погулять самим по нему не удалось. А ведь узнать город лучше, почувствовать его, можно лишь пройдя по нему пешком самостоятельно. Знакомиться с Иркутском очень удобно: для туристов устроена Зеленая линия, пройдя вдоль которой можно осмотреть все основные достопримечательности. Такие линии теперь появляются во многих городах. Интересно, что несмотря на февраль, Ангара в районе Иркутска не замерзла.

Переезд из Иркутска на остров Ольхон занял примерно 6 часов. Останавливались перед Ольхонскими Воротами у памятника Бродяге. Вид на Ольхон летом, конечно, более яркий. Зимой Ольхон с материком связан ледовой переправой. Это почти как настоящая дорога, даже с дорожными знаками. Лед в этом году – без снега, хотя так бывает не каждый год. Проехали мимо туристов, которые лежали на льду и пытались что-то рассмотреть сквозь его толщину. На Ольхоне снега нет совсем. В летнем путешествии нам об этом рассказывали, но все равно странно ви-

деть пасущихся коров и лошадей в феврале. Песок на берегу Байкала тоже не смерзшийся, а рассыпчатый.

Заселились в гостиницу, и, конечно, первым делом к Байкалу, на мыс Бурхан. Вдоль берега – как будто замерзшие волны. В отличие от лета, зимой можно увидеть Шаманку со всех сторон. Мы посмотрели на нее сверху с мыса, а потом спустились вниз и посмотрели на нее со льда озера. На скалах застывшие сосульки разнообразной формы, натеки. Лед весь в трещинах, но попадаются очень ровные участки. Около берега протяженные торосы. В больших трещинах, несмотря на хороший минус,

незамерзшая вода.

На следующий день перед экскурсией на мыс Хобой, так же, как и летом, вышли встречать восход Солнца. От рассвета до восхода, оказывается, проходит довольно много времени. Летом меньше. Несмотря на морозное утро, поток туристов, желающих увидеть первые лучи солнца на Шаманке, не меньше, чем летом.

Зимняя дорога на мыс Хобой проходит и по льду, и по суше. По дороге сделали несколько остановок около островов, у скал Три брата. Фотографировали сосульки на скалах, которые имеют самые причудливые формы. Интересно выглядят торосы – как будто кто-то разбросал толстые ледяные плиты. Льдины прозрачны, как стекло, на солнце приобретают голубоватый оттенок.

На обед, так же, как и летом, – уха из свежей рыбы. Поводилась ходить к месту обеда лиса, которая совершенно не боится туристов: позволяет себя фотографировать и кормится с рук. Вечером обошли мыс Бурхан с другой стороны – там, где не были вчера.

Следующий день был свободный, поэтому участники группы развлекались каждый по-своему. На Хужире работает прокат, где можно взять велосипед или коньки на целый день. Мы взяли коньки и отправились по льду Байкала на озеро Ханхой (около 12 км пути в одну сторону), туда, где купались летом. Утро было довольно морозным, поэтому лед был жесткий. Кататься по такому льду не очень комфортно, тем более, что он не везде ровный. Думали, что больше, чем на 20 минут нас не хватит. Тем не менее, доехали до озера на коньках. Поехали бы и обратно, но решили, что для сравнения пешком тоже надо по льду пройти. Оказалось, что на коньках легче – лед все-таки, скользко.

Льдом Байкала можно любоваться бесконечно. Неповторимую красоту и многообразие придают льду вмерзшие в него пузыри метана. Пузырьки разных размеров образуют целые колонии в толще льда. Интересно, что лед – это не безмолвная пустыня. Он живет: трещит, иногда даже очень громко. Было даже жутковато, когда останавливались в ледяных пещерах около берега – там звук многократно усиливался так, что казалось тебя «захлопнет» в этой пещере. Свободный день получился самым спортивным за все путешествие: в итоге мы преодолели около 28 км.

Вечером нас ожидала баня с прорубью на льду Байкала. На УАЗе нас отвезли в безлюдное место, где были только баня, прорубь и мы. Да еще шикарное заходящее солнце. Это непередаваемое удовольствие – после горячей бани нырнуть в прорубь. А вокруг простор покрытого льдом Байкала, освещенный красноватыми лучами приближающегося к горизонту солнца. С погодой нам очень повезло. Дни стояли ясные безветренные.

На следующий день прощаемся с Ольхоном и переезжаем на катере с воздушной подушкой «Хивус» в Листвянку. В Листвянку по Байкалу можно добраться только на таком судне, оно может ходить как по льду, так и по воде. Дорога заняла практически все светлое время суток. Торосов на пути очень много, порой встречались целые лабиринты из них. Капитану постоянно приходилось искать проезды через ледяные завалы. У «Хивуса» нет тормозов, поэтому скорость из-за торосов не особенно большая. Встречались трещины с водой. Лед был прозрачным, как зеркало, в нем отражались горы.

Первая остановка на острове Огой. Поднимаемся к буддийской Ступе Просветления. Как положено, обходим ее три раза. Завораживает прекрасный вид вокруг. Следующая остановка в очень красивой бухте Песчаная. Здесь песок и зеленые сосны с открытыми корнями (танцующие или ходульные деревья). Снега нет, песок и яркое солнце, поэтому иногда забываешь, что еще зима. Поселок Большие Коты, куда приходили летом из Листвянки по Байкальской тропе, видели только издали.

Листвянка после Ольхона показалась шумной. Кроме того, здесь в этот день был сильный ветер. Вечером осмотрели ледовый городок, построенный на льду Байкала. Вообще в зимнее время развлечения в поселке смещаются на лед.



«Бродяга» Ю. В. Власов, пролив Ольхонские Ворота

В первой половине следующего дня экскурсия по Байкальскому музею. Хотя мы были там летом, но и в этот раз не пожалели, что сходили – каждый экскурсовод проводит экскурсию по-своему, и в результате мы узнаем то, о чем не слышали раньше.

После музея отправились осматривать Кругобайкальскую железную дорогу. До первого тоннеля (одного из многих на этой дороге) доехали на «Хивусе». Видели туристический поезд, который нас поприветствовал гудком. Затем пешком дошли до паромной переправы через Ангару. Оказалось, что парома нужно долго ждать, поэтому вернулись в Листвянку пешком по льду. Ангара зимой не замерзает. Шли так, что вода в истоке Ангары была в пределах видимости. Затем поднялись на Камень Черского. Погода в этот раз была ясная, поэтому тот прекрасный вид на исток Ангары, который не увидели летом из-за тумана, увидели сейчас. Зимой Камень Черского – это горнолыжный курорт.

На следующий день утром прощаемся с Байкалом. Переезжаем из Листвянки в Иркутск. Вылетаем домой. И зимой, и летом Байкал красив и величествен – в каждый сезон по-своему.

ВЛАСОВА Марина Александровна –

старший научный сотрудник ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ

ВЛАСОВ Юрий Валентинович –

ведущий научный сотрудник НПЦФ РФЯЦ-ВНИИЭФ,
кандидат физ.-мат. наук

ВЛАСОВ Сергей Юрьевич –

инженер-исследователь НПЦФ РФЯЦ-ВНИИЭФ

Вот грибы – запоминай и в корзинку собирай!

С. Т. БРЕЗКУН

Шляпка, а под нею – ножка,
Шляпка набекрень немножко...

Кто тут – угадать могли б?
Ну, конечно, это – гриб!

Под березой, под сосною,
Летом, осенью, весной,
На полянке, в роще, в чаще,
Только нагибайся чаще,
Ты везде грибы найдешь...

Вот с корзинкой ты идешь,
Вдруг, смотри – перед тобою
Чуть прикрытые травой
Подосиновики в ряд,
Шляпки красные горят!

А вон там –
Нагнись пониже,
Листиком прикрывлся рыжик,

А в подстилке моховой
Притаился боровой.

Вот – опята,
Вот – маслята,
Очень крепкие ребята,



Вот – веселые подружки
Сыроежки и волнушки!
Вот – лисичек хоровод...
Ты не стой, разинув рот!
Ты грибы запоминай
И в корзинку
Собирай!
ПОБОЛЬШЕ!



ОПЯТА

Чудеса!
На пне висят
Гроздьи целые
Опят,
Словно рыжие кусты...

Что же зазевался ты?
Даром время не теряй,
Поскорее их срежай!

МАСЛЁНОК

Найти маслёнок каждый рад –
Он сверху, словно шоколад,
А снизу – словно масло он,

И вкусен он
Со всех сторон!



БЕЛЫЙ ГРИБ БОРОВИК

Утро раннее...
По лесу
Мы идем с лукошками.
Под ногами – мягкий мох,
А во мху – окошки!



Посмотри-ка: из окна
Шляпка –
Только чуть видна.

Наклоняйся тут же смело:
Это ведь большущий белый!

Настоящий боровик!
Мы его в лукошко вмиг...

Хоть и прятался он в мох,
Но уйти от нас не смог!

АТОМ

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

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

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

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

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

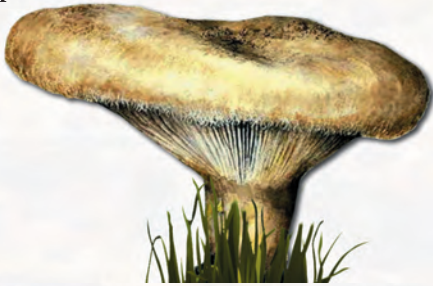
Индекс подписки
в Каталоге Роспечати 72249

БЕЛЫЙ ГРУЗДЬ

После теплого дождя
Появились три груздя,
А потом – еще пятнадцать –
Ох, устанешь наклоняться!

Только срезал их –
Опять
Под ногами
Новых пять!

Нету белых?
Ну и пусть!
Вместо белых –
Белый груздь!



ЛИСИЧКИ

Лисички весело искать: А там, у дальнего куста,
Вот – две, Их может даже
Вот – три, Больше ста!
Вот – сразу
Пять!

Лисичек множество в лесу!
Я все в корзинке унесу!



ВОЛНУШКИ

Ну а это вот – волнушки,
Шляпки гнуты,
Словно стружки,
А мохнаты,
А мохнаты –
Словно варежки зимой,

И украшены по краю
Серебристой
Бахромой!



РЫЖИК

Помни – рыжик есть
Сосновый,
А бывает – и еловый.

Шарь у елки,
У сосны –
Оба рыжика вкусны.



СМОРЧОК

Смотри: весенний гриб –
Сморчок.
И вправду –
Сморщенный бочок
Под серым
Сморщенным листом...

Ну что –
Берем его?

Берем!



МУХОМОР

А этот гриб
Красив на вид,
Но, к сожалению,
Ядовит.

Он просто
Украшает бор –
Огромный
Красный
Мухомор.



ДУБОВИК

Это – гриб дубовичок:
Крепкий выпятил бочок,
Шляпку с бархатом надел,
Невелик,
А видом – смел!



