



Институт физики взрыва. История и современность

К 65-летию

А. Л. МИХАЙЛОВ

2 мая 2017 г. Институту экспериментальной газодинамики и физики взрыва (ИФВ), как структурной единице ВНИИЭФ, исполнилось 65 лет.

До 1952 г. наши лаборатории (отделы), составившие основу будущего газодинамического сектора 3, были первыми научными лабораториями (№ 1–6) единого научно-исследовательского сектора (НИС, сектор 20), возглавляемого трижды Героем Социалистического Труда, трижды лауреатом Сталинской и лауреатом Ленинской премии в будущем, первым заместителем Ю. Б. Харитона, Кириллом Ивановичем Щёлкиным. (К порицанию отцов города, улицы К. И. Щёлкина в Сарове до сих пор нет, зато есть город Щёлкино в Крыму).

К. И. Щёлкина можно по праву считать основателем нашей школы газодинамических исследований. Он, кстати, в 1947–1952 гг. сам возглавлял лабораторию № 5 (отдел 25) натурного моделирования, газодинамической отработки и полномасштабных испытаний ядерных зарядов – прародительницу нынешнего отдела 0308 ИФВ.

О годах становления ИФВ (сектора 3), его отцах-основателях, начальниках первых лабораторий и отделов и их правопреемниках мы неоднократно писали (см., например, журнал «Атом»,

№ 21 за 2002 г., № 59 за 2013 г., статью в книге (о первом начальнике сектора 3) «Герой Социалистического Труда, лауреат Сталинских премий Василий Константинович Боболев», изд. РФЯЦ-ВНИИЭФ: Саров, 2015 г. и др.). Поэтому здесь лишь перечислим некоторые яркие достижения первых 20 лет, вошедшие в золотой фонд отечественной науки и ядерно-оружейного комплекса страны:

- прошли газодинамическую отработку, реализованы в конструкциях и испытаны большинство известных ныне схем ядерных зарядов, заложены основы ядерного щита страны;

- создана отечественная школа динамических методов исследования свойств материи в экстремальных состояниях – школа исследований параметров уравнений состояния (УРС); получены параметры УРС большинства практически интересных элементов Вселенной и их соединений, вошедшие в десятки монографий, справочных данных и библиотеки УРС;

- создана школа и методология разработки новых типов взрывчатых веществ и прецизионных деталей из них, удовлетворяющих небывалым на тот момент техническим требованиям, оказавшая положительное влияние на другие оборонные отрасли страны;

- созданы безопасные электродетонаторы и соответствующие системы синхронного инициирования;

- заложены и реализованы основы отечественного приборостроения для исследований физики быстропротекающих взрывных явлений; впоследствии для этого были созданы специализированные институты и КБ;

- впервые в мире реализована исторически первая схема инерциального импульсного термоядерного синтеза без использования делящихся материалов – схема газодинамического термоядерного синтеза (ГДТС);

- создано новое направление физики сверхсильных магнитных полей и высоких плотно-



К. И. Щёлкин, начальник НИС (с 1948 по 1952 г.)



В. К. Боболев, начальник сектора 3 (с 1952 по 1955 г.)

стей энергии, основанное на разработках и применении взрывомагнитных (магнитокумулятивных) генераторов;

- создано новое научное направление исследований параметров уравнений состояния делящихся материалов и физических схем конструкций ядерных зарядов с применением невзрывных цепных ядерных реакций;

- с прекращением эпохи воздушных ядерных испытаний и их переносом под землю предложен и разработан гидродинамический метод определения энерговыделения ядерных взрывов;

- создана отечественная школа исследований динамической прочности и реологии материалов, динамики конструкций в экстремальных состояниях;

- создана отечественная школа исследований электрических эффектов в ударных волнах, приведшая к разработкам мощных взрывных пьезоэлектрических генераторов, пьезоэлектрических датчиков для исследований ударноволновых процессов, пиродетекторов проникающих излучений;

- создана методология и школа исследований гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания, вызванных физическими проблемами работы систем термоядерного синтеза;

- в ИВФ зародилась самая мощная в стране школа исследований, разработки и практических приложений мощных лазеров, работающая ныне в образовавшемся в начале 1970-х гг.

Лауреаты Ленинской, Государственной и Правительственной премий



С Л А В А Т Р У Д У

Лауреаты Ленинской, Государственной и Правительственной премий



Институте лазерно-физических исследований (ИЛФИ). Этот перечень, конечно, не полон.

Справедливости ради надо сказать, что наши предшественники в те годы работали в комфортных условиях приоритетного финансирования и материально-технического обеспечения работ, когда во главу угла ставился научный результат и его практическое воплощение, а все обеспечивающие службы работали на обеспечение работ ученых и инженеров. (Сейчас они, увы, «руководят» учеными).

Достижения ученых и инженеров обеспечили ядерный паритет с США. Затем наступил период «перестройки», прекращения ядерных испытаний, утраты приоритетов научных исследований и даже утраты ряда технологий.

С технической точки зрения, в этих условиях нам потребовалось создать новую технологию поддержания надежности и безопасности ядерного арсенала без заключительного аккорда – ядерного испытания. Требуется заменять ядерные испытания расчетным и лабораторно-экспериментальным обоснованием.

Расчеты, а в нынешнем понимании численное моделирование, в ядерно-оружейной сфере всегда играли особую роль в силу невозможности воспроизвести в лаборатории стадию ядерного энерговыделения. Под лабораторными исследованиями здесь мы понимаем исследования всех стадий работы изделия, не подпадающие под действие международного Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) независимо от того, где они проводятся – в лаборатории, на внутреннем полигоне ВНИИЭФ, на Центральном полигоне Российской Федерации (ЦПРФ).

Лишившись полномасштабных испытаний изделий, мы обязаны компенсировать их отсутствие большей информативностью и предсказательной достоверностью лабораторного моделирования, в том числе и в целях получения базовых экспериментальных данных для создания и верификации физических моделей, используемых в численном моделировании. И мы полагаем, что со времени прекращения полномасштабных ядерных испытаний нам удалось кое-что сделать, в том числе и доступное для рассказа широкой общественности.

1. Создана новая технология (совместно с другими подразделениями ВНИИЭФ и ВНИИТФ) неядерно-взрывных экспериментов на ЦПРФ (премия Правительства РФ в начале 2000-х гг.).

2. Совместно с коллегами с Урала (ЭХП и ВНИИТФ) и ГосНИИ «Кристалл» разработаны

и внедрены малочувствительные взрывчатые составы (ВС), радикально повышающие взрывобезопасность изделий (премия Правительства РФ). Решена задача обеспечения сохранения качества и характеристик ВС в условиях смены поставщиков и дрейфа технологий производства компонентов (премия Правительства РФ). В ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ разработан ВС повышенной мощности, ожидающий своего заказчика.

3. Многоканальные ($n \geq 1000$) измерения аналоговых и логических сигналов различной природы – оптических, электрических, проникающих излучений, несущих информацию о взрывном процессе. В XXI веке мы полностью перешли на цифровую аппаратуру с увеличением в разы и числа каналов и физического разрешения процессов во времени и пространстве, а для ряда приложений даже оснастили другие предприятия отрасли (Государственные и отраслевые награды в 2017 г.).

4. Импульсная рентгеновская радиография – один из наиболее информативных и наглядных невозмущающих методов визуализации быстропротекающих процессов внутри уничтожаемого во взрыве объекта. ИФВ обладает, по-видимому, наиболее мощным в стране парком импульсной рентгенографической техники, средств регистрации и методов обработки изображений, разработанных исключительно во ВНИИЭФ совместно с нашими коллегами из ИЯРФ и НТЦФ. В нашем арсенале – рентгенографические комплексы на базе различных переносных и транспортабельных установок «мягкого» рентгена (верхняя граница сплошного спектра энергии рентгеновского излучения от сотен килоэлектронвольт до одного миллиона электронвольт (МэВ)), мощные физические установки на базе ускорителей электронов с верхней энергией излучения в десятки мегаэлектронвольт. Комплекс РГК-М на базе «Страус-Р» (разработка ИЯРФ) не имеет мировых аналогов по размеру регистрируемого поля рентгеновского излучения (до 100 м²). Комплекс жесткого излучения РГК-Б (верхняя граница спектра 50–70 МэВ) на базе трех синхронно работающих бетатронов БИМ 234.3000 (разработка НТЦФ) – мировой чемпион по числу лучей зондирования и кадров регистрации однократного процесса (Государственные награды в 2009 г.).

Комплекс РГК-Б-Л, представляющий собой интеграцию линейного индукционного ускорителя ЛИУ-Р-Т (разработка ИЯРФ) с комплексом РГК-Б, помимо добавления еще одного луча зондирования к РГК-Б, обладает десятикратной до-



Трехлучевой многокадровый рентгенографический комплекс РГК-Б

зой излучения по лучу ЛИУ-Р-Т по сравнению с бетатронами, что вывело этот комплекс на уровень передовых мировых позиций и по просвечивающей способности.

5. Протонная радиография – новое слово в диагностике взрывных процессов, реализованное сотрудниками ВНИИЭФ совместно с Институтом физики высоких энергий (ИФВЭ) ГНЦ «Курчатовский институт» на базе синхротрона У-70 ИФВЭ – уникального инструмента, не имеющего по техническим характеристикам близких мировых аналогов (премия Правительства РФ за 2016 г.). Этот инструмент обладает замечательными характеристиками по сравнению с самыми мощными мировыми рентгенографическими комплексами:

- практически неограниченная для наших задач многокадровость (десятки кадров);
- большая, по меньшей мере, в 2 раза, просвечивающая способность;
- на порядки больший динамический диапазон разрешения структуры объектов различной массовой (ρl) толщины, измеряемой в г/см^2 ;
- лучшее в 2–3 раза временное и пространственное разрешение;
- потенциальная возможность «различать» электропроводящие материалы с разным зарядом ядра z при одинаковых (ρl);
- потенциальная возможность «различать» материалы с одинаковыми z и (ρl), используется эффект «вмороженности» магнитного поля.

6. Лазерная доплеровская диагностика мирового уровня, развиваемая в ИФВ с 1980-х гг., превосходит по прецизионности, при отсутствии влияния на исследуемый гидродинамический процесс, все известные методы диагностики скорости, перемещения и ускорения границ, отра-

жающих свет. Второе дыхание методика получила с момента появления схем прямой лазерной гетеродин-интерферометрии на базе рыночных телекоммуникационных инфракрасных лазеров.

Сейчас это – один из основных инструментов тонких многоканальных ($n > 100$) непрерывных измерений в исследованиях динамических свойств материалов и газодинамики конструкций.

7. Микроволновая доплеровская радиоинтерферометрия в миллиметровом диапазоне длин волн зондирующего когерентного электромагнитного излучения. Обладает неоценимым дополнительным, по сравнению с лазерной доплеровской диагностикой, свойством-возможностью «видеть» скачки плотности (проводимости, диэлектрической проницаемости) внутри всех радиопрозрачных сред. Это ныне незаменимый инструмент в исследованиях возбуждения, развития и распространения детонации взрывчатых веществ, параметров УРС радиопрозрачных материалов, электрофизических свойств плазмы, динамики конструкций (премия Правительства РФ за 2015 г.).

8. Лазерно-оптическая высокоскоростная импульсная фотография микронного пространственного и наносекундного временного разрешения – инструмент исследования тонких процессов развития гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания различных сред – процессов, ограничивающих кумуляцию энергии в системах термоядерного синтеза.

9. Стационарные газодинамические комплексы ствольного типа для исследований динамики и газодинамики конструкций в условиях действия интенсивных перегрузок в десятки тысяч единиц ускорения, а также для исследований поведения материалов при моделировании соударений (премия Правительства РФ за 2003 г.).

10. Проведена адаптация экспериментальной базы внутренних полигонов ИФВ под задачи разработки боевых частей обычных (неядерных) систем вооружений.

Создав перечисленный (конспективно) инструментарий XXI века, мы, естественно, используем его не только для решения специальных задач ядерно-оружейного комплекса, но и для фундаментальных и прикладных исследований, выходящих за их рамки («Мы должны знать в десять раз больше, чем это необходимо для решения частной задачи», – говорил Ю. Б. Харитон).

Значительными достижениями последних 10–15 лет, положенными в копилку мировой, отечественной и отраслевой науки и техники,

стали следующие работы (опять кратко, не претендуя на полноту списка, во избежание утомления и читателя, и писателя):

- разработка научных основ и создание новой методики газодинамической аттестации качества изделий отрасли, ставшей ныне одним из незаменимых инструментов тестирования численных расчетов (Государственная премия РФ за 2002 г.);

- исследования термодинамических свойств компонентов термоядерной плазмы и параметров уравнений состояний газов на макробразцах в мегабарной области давлений (до 100 миллионов атмосфер) и плотностей, соответствующих плотности металлов. На протяжении последних 5–6 лет результаты этих работ неизменно отмечаются в бюллетенях Российской академии наук (РАН) среди лучших отечественных научных достижений года;

- исследования динамической прочности и реологии материалов – от квазистатики (скорость деформирования $\sim 10^3$ 1/с) и давлений в десятки тысяч атмосфер до скоростей деформирования $\sim 10^8$ 1/с и давлений мегабарного (миллионы атмосфер) диапазона. Здесь исследуются как тонкие процессы гетерогенного деформирования и локализованного сдвига на микро- и мезоуровне, так и интегральные показатели прочности материалов. Особое место занимает развитый нашими сотрудниками «метод возмущений» (использующий гидродинамические неустойчивости как инструмент исследования реологических свойств материалов), ныне принятый на вооружение и ведущими западными лабораториями;

- на базе достижений в исследовании параметров уравнений состояния (УРС) веществ, динамической прочности и реологии материалов, гидродинамических неустойчивостей и турбулентного перемешивания в ИФВ созданы и постоянно создаются новые модели УРС и широкодиапазонных определяющих уравнений, внедряемые в современные компьютерные коды расчета работы изделий отрасли;

- в рамках решения задач Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения» совместно с ГНЦ «ТРИНИТИ» успешно ведутся исследования возможности создания мощных источников термоядерных нейтронов на основе газодинамического дожатия замагниченной термоядерной плазмы;

- в ИФВ разработаны не имеющие в стране аналогов технологии термовакуумной переработки бризантных взрывчатых веществ. Это от-

крывает перспективы создания прецизионных взрывных систем на принципах аддитивных технологий, близких технологиям печатных плат электронной техники;

- в конце XX – начале XXI века при определяющем вкладе ИФВ выполнены разработки нескольких типов боевых частей обычных вооружений мирового уровня, изготовление и поставка которых заказчику является сейчас одной из весомых составных частей ежегодных внебюджетных доходов ВНИИЭФ;

- в те же годы разработаны многочисленные гражданские приложения взрывных технологий, еще ждущие в большинстве своем заказчика.

Перечень можно продолжать и дальше. Наша задача в этой статье – показать, что, получив мощный импульс творческой энергии от предшественников, коллектив ИФВ, «несмотря и вопреки», движется вперед, преодолевая препоны, создаваемые расплывшимися бюрократическими структурами. Сейчас ИФВ – по видимому, крупнейший институт подобного профиля в стране. На базе ИФВ функционирует диссертационный совет по трем специальностям. ИФВ – базовое подразделение кафедры «Теоретическая и экспериментальная механика» Саровского физико-технического института НИЯУ «МИФИ». На базе ИФВ раз в два года проводится Международная конференция «Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны».

На доске ИФВ «Трудовая слава» – фотографии и фамилии 99 сотрудников – лауреатов Ленинских, Государственных премий и премий Правительства РФ, часть из которых награждены неоднократно.

И какие бы ветры реструктуризаций ни дули над Российским федеральным ядерным центром, ИФВ будет считать своей миссией обоснование и обеспечение надежности и безопасности ядерного арсенала до тех пор, пока РФЯЦ-ВНИИЭФ функционирует как важнейший ядерно-оружейный комплекс страны.

МИХАЙЛОВ Анатолий Леонидович –
директор ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор технических наук,
лауреат Государственной премии РФ
и премии Правительства РФ