



1907–1967

## НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА А. Ф. БЕЛЯЕВА

**А. А. Сулимов**

ИХФ РАН  
г. Москва, Россия

В 2012 г. исполнилось 105 лет со дня рождения профессора Александра Федоровича Беляева, ученого с мировым именем, который внес огромный вклад в разработку физических основ горения и взрыва в конденсированных системах. Он был одним из создателей всемирно известной Семеновской школы химической физики.

Беляев стал классиком при жизни, а его работы считаются классическими и в настоящее время. Его фундаментальные результаты получили позднее новое осмысление и способствовали созданию новых научных направлений. Своими исследованиями А. Ф. Беляев обеспечил приоритетное развитие отечественной школы в науке о горении и взрыве.

Основные направления разнообразной научной деятельности А. Ф. Беляева:

- (1) стационарное горение вторичных летучих и инициирующих взрывчатых веществ (ВВ), порохов, смесевых твердых ракетных топлив (СТРТ);
- (2) возбуждение взрыва и детонации при механических и тепловых воздействиях;
- (3) стационарная детонация смесевых (в том числе промышленных) ВВ;
- (4) переход горения пористых систем во взрыв и детонацию;
- (5) работа взрыва и взаимодействие ударных волн.

Несмотря на широту тематики, все его работы схожи своей законченностью и убедительностью экспериментальных доказательств, полученных с помощью удивительно скромных технических средств. Он был прекрасным экспериментатором: Я. Б. Зельдович называл его «теоретиком эксперимента».



Фото 1 Группа инженеров-физиков, окончивших в 1930 г. физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. Верхний ряд: крайний слева — О. И. Лейпунский, третий слева — Я. И. Френкель, рядом с ним — А. Ф. Иоффе и далее И. Л. Зельманов; средний ряд: третий слева — Ю. Н. Рябинин; нижний ряд: первый слева — А. Ф. Беляев, пятый слева — М. Я. Ген

Приведенные фотографии дают представление о научной среде и тех выдающихся людях, которые способствовали развитию его таланта исследователя.

На фото 1 — группа инженеров-физиков, окончивших в 1930 г. физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. Им читали лекции знаменитые физики Абрам Федорович Иоффе (вверху, в центре) и Яков Ильич Френкель (слева от Иоффе). Из этой группы в последующем выйдут пять заведующих лабораториями ИХФ АН СССР: Александр Федорович Беляев, Овсей Ильич Лейпунский, Иосиф Львович Зельманов, Юрий Николаевич Рябинин и Матвей Яковлевич Ген.

На фото 2 и 3 показаны близкие А. Ф. Беляеву люди. На них — всем известные выдающиеся ученые: Юлий Борисович Харитон, который был руководителем Беляева в течение всей его жизни; Яков Борисович Зельдович, с которым он много работал в области горения, что привело, в частности, к созданию получившей мировое признание теории горения летучих ВВ — теории Зельдовича–Беляева; Михаил Александрович Садовский — крупнейший специалист в области физики и геофизики взрыва, которого с Беляевым связывали не только совместные исследования по работе взрыва, но и большая личная дружба.



**Фото 2** Академики Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (1984 г.)



**Фото 3** Академик М. А. Садовский (1984 г.)

На фото 4 (1946 г.) — сотрудники лаборатории взрывных процессов, которой руководил Беляев.

На фото 5 — А. Ф. Беляев с учеными в области горения: профессора С. Н. Данилов, К. К. Андреев (с которым он много и плодотворно сотрудничал), справа — И. В. Тишунин (заведующий кафедрой горения Артиллерийской академии) и М. Е. Серебряков (классик внутренней баллистики ствольных систем, на книгах которого выросло несколько поколений артиллеристов).

На фото 6 Александр Федорович с крупнейшим английским физиком в области взрыва — профессором Ф. П. Боуденом (в центре), слева — Ф. И. Дубовицкий, А. Я. Апин и



**Фото 4** Лаборатория взрывных процессов (1946 г.). Слева направо: стоят — В. К. Боболев, Ю. Н. Рябинин, А. Ф. Беляев, В. М. Карасев, А. Я. Апин; сидят — А. Е. Беляева, В. Д. Грамматчикова, А. Д. Ромоданова, Д. И. Веселовская, К. Гусева и В. И. Белова



**Фото 5** Слева направо: профессора А. Ф. Беляев, С. Н. Данилов, К. К. Андреев, И. В. Тишунин и М. Е. Серебряков

справа — А. Ф. Беляев, К. К. Андреев, на заднем плане — О. В. Крылов, А. Д. Марголин, В. С. Илюхин.

На заседании Ученого совета Института (фото 7) — слева направо: А. А. Борисов, К. И. Щелкин, А. Ф. Беляев, П. Ф. Похил, А. Б. Налбандян и А. Я. Апин.

На фото 8 — Беляев с сотрудниками 3-го корпуса ИХФ в санатории «Узкое»: здесь можно видеть молодых Л. Н. Стесика, А. И. Короткова (бесшменного заместителя Беляева по лаборатории, проработавшего с ним до конца жизни), Г. С. Соснову, Р. Х. Курбангалину и В. Н. Родионова.

В доме Беляева (фото 9): В. Г. Самсонова, Н. Н. Семенов, М. А. Садовский, справа — супруга Ирина Евгеньевна Беляева, которая много сделала для сохранения лаборатории А. Ф. Беляева после его ухода из жизни и активно помогала молодым научным сотрудникам.

Итак, прекрасное физическое образование, выдающиеся руководители и сподвижники, творческая научная среда ИХФ АН СССР в сочетании с талантом естествоиспытателя, целеустремленностью и огромным трудолюбием А. Ф. Беляева — все это определило успех его научной деятельности. Первая работа, выполненная в 1934 г. молодым Беляевым под руководством Ю. Б. Харитона и посвященная изучению механизма передачи детонации в вакууме от одного кристалла азидов свинца к другому, дала неожиданный



**Фото 6** Слева направо: Ф. И. Дубовицкий, А. Я. Апин, Ф. Боуден, А. Ф. Беляев, К. К. Андреев (1958 г.)

результат. Оказалось, что передача детонации носит статистический характер. Ее вероятность зависит от расстояния между зарядами и площади пассивного заряда, но не обращается в ноль даже в глубоком вакууме, т. е. когда отсутствует воздушная ударная волна. Авторы сделали правильный вывод, что передача детонации в их опытах осуществляется микроскопическими (субмикронными) осколками, разбрасываемыми при взрыве активного кристалла азида свинца. Согласно расчетам скорость этих частиц в вакууме составляет 2–3 км/с, линейный размер — порядка 1 мкм, а их масса —  $10^{-11}$  г.

Последующий цикл работ был посвящен изучению механизма горения ВВ и порохов. Эту область исследований Александр Федорович особенно любил и неизменно возвращался к ней в течение всей своей научной дея-



**Фото 7** На Ученом совете ИХФ АН СССР (1966 г.). Слева направо: А. А. Борисов, К. И. Шелкин, А. Ф. Беляев, П. Ф. Похил, А. Б. Налбандян, А. Я. Апин



**Фото 8** Санаторий «Узкое». Слева направо: Л. Н. Стесик, К. Гусева, А. Ф. Беляев, А. Е. Беляева, А. И. Коротков, Г. С. Соснова, Р. Х. Курбангалина, В. Н. Родионов (1948 г.)



**Фото 9** В доме А. Ф. Беляева (1970 г.). Слева направо: В. Г. Самсонова, Н. Н. Семенов, М. А. Садовский, А. Е. Беляева

тельности. Мировую известность принесла А. Ф. Беляеву созданная им совместно с Я. Б. Зельдовичем теория горения летучих ВВ. Прямыми опытами было убедительно показано, что горению вторичных ВВ (нитрогликоля, тротила) предшествуют процессы плавления и испарения, а химические реакции, определяющие скорость горения, протекают в газовой фазе. Он считал, что образовавшиеся пары вступают в реакцию не сразу, а после некоторого времени, необходимого для их дальнейшего прогрева. В результате горение возникает не на поверхности, а на некотором расстоянии от конденсированной фазы. Область прогрева паров образует несветящуюся темную зону, которая была установлена в процессе исследований. Беляевым были получены уникальные данные по температурам кипения и теплотам испарения многих ВВ.

Изучая (совместно с А. Е. Беляевой) горение инициирующего ВВ — пресованной гремучей ртути в вакууме, он открыл новое явление диспергирования при горении. Вот как описывал сам Беляев этот оригинальный эксперимент: «На стенках и дне колокола, в котором происходит сжигание, появляется интенсивный налет, представляющий собой чрезвычайно мелкодисперсную гремучую ртуть. Если собрать этот осадок, запрессовать и опять поджечь в вакууме, то такая однажды сгоревшая гремучая ртуть горит так же, как свежая, с образованием гремучертутного налета». Это открытие играет такую же важную роль, как и представление о прогревом



слое и роли тепла, передаваемого из газовой фазы на поверхность горения. Фундаментальная роль диспергирования при горении бездымных порохов была выявлена позднее в работах П. Ф. Похила и Б. П. Жукова, а затем и при горении смесевых топлив.

Указанные исследования явились основой докторской диссертации А. Ф. Беляева «Механизм горения взрывчатых веществ» (М., 1946 г.).

Значительное внимание Беляев уделял горению термитных смесей, состоящих из высококалорийных металлов (алюминия, магния) с различными окислами (хрома, железа). В этих работах был сформулирован вывод о том, что для составов, у которых при горении отсутствует какая-либо газовая фаза, скорость горения не зависит от давления. Здесь же была высказана мысль о возможности образования в продуктах горения нитридов металлов. Эти исследования явились, по существу, научной предпосылкой к работам академика А. Г. Мержанова, создавшего новое направление в науке о горении — «технологическое горение», при котором обеспечивается целенаправленный высокотемпературный синтез в волне горения неорганических материалов с новыми свойствами.

В связи с проблемой создания высокоэнергетических СТРТ А. Ф. Беляевым с сотрудниками были выполнены систематические исследования закономерностей горения модельных смесевых составов на основе перхлоратов аммония и калия с добавками металлов и катализаторов при различных давлениях и температурах. Были установлены зависимости скорости горения от давления, дисперсности и соотношения компонентов, начальной температуры. Дана четкая физическая картина процессов, лежащих в основе этих зависимостей. Результаты данного цикла исследований, которые сыграли важную роль в развитии теории горения СТРТ, обобщены в монографии Н. Н. Бахмана и А. Ф. Беляева [2].

Особо необходимо выделить работу А. Ф. Беляева по горению смесевых составов (совместно с Ю. В. Фроловым), в которой был применен мелкодисперсный, тщательно измельченный перхлорат аммония, что позволило авторам существенно (в несколько раз) увеличить скорость их горения. Эта работа получает в настоящее время новое развитие в связи с наметившейся тенденцией широкого использования субмикронных и наноразмерных частиц окислителя для резкого увеличения скорости горения различных топлив. Изучая механизм горения СТРТ, А. Ф. Беляев показал, что гетерогенная структура заряда оказывает значительное влияние на полноту химического превращения как в волне горения, так и в ракетном двигателе.

Большой интерес представляют экспериментальные данные по послыльному горению при высоких давлениях (до 4000 атм), полученные А. Ф. Беляевым совместно с А. А. Сулимовым и А. К. Парфеновым. Оказалось, что если для однородных бризантных ВВ (тротил, тэн) скорость горения линейно растет с давлением, то для смесевых ВВ на основе перхлоратов аммония, калия и нитрата аммония с ростом давления наблюдается замедле-

ние прироста скорости. Такое поведение скорости горения наблюдается при разных давлениях в зависимости от состава. Этот результат был позднее подтвержден зарубежными исследователями. Для дымного пороха скорость горения в интервале давлений 2000–4000 атм вообще не зависит от давления. Полученные данные позволяют объяснить различный характер изменения критического диаметра детонации с ростом плотности заряда: его уменьшение для однородных ВВ и увеличение для смесевых ВВ.

С проблемой СТРТ связаны также постановка и развитие работ (совместно с Ю. В. Фроловым и А. И. Коротковым) по изучению механизмов воспламенения и горения частиц металлов в высокотемпературных средах. Совместно с лабораторией П. Ф. Похила исследован механизм и разработана многостадийная физическая модель нового явления — агломерации частиц металлов в волне горения. Установлены связи между параметрами агломерации и эффективностью использования металлизированных систем в камерах сгорания ракетных двигателей на твердом топливе. Сформулированы основные закономерности воспламенения и горения металлов. Освещен вопрос влияния добавок металлов на физико-энергетические параметры СТРТ и порохов. Материалы исследований данной проблемы можно найти в монографии [4].

В это же время делаются успешные попытки связать температурный коэффициент скорости горения с эффективными константами ведущей реакции (совместно с Г. В. Лукашеней). Выдвигается идея, что изменение степени и скорости газификации горючего во фронте пламени с давлением может привести к отступлению от исходного соотношения между окислителем и горючими и, как следствие, к усложнению законов горения.

Заслуживает внимания цикл интересных работ по горению при повышенных давлениях инициирующих ВВ — гремучей ртути, а также выполненных совместно с С. А. Цыгановым исследований горения пикратов калия, натрия, лития, свинца, цезия, рубидия и их смесей с перхлоратом калия.

Беляев внес существенный вклад в наши представления о возбуждении взрыва и детонации при механических и тепловых воздействиях. Прежде всего, следует отметить выполненную (совместно с В. К. Боболевым и З. И. Ратнером) работу по инициированию взрыва аммиачно-селитренных ВВ при ударе, в которой было получено несколько принципиальных новых результатов. Первый дает ясное физическое толкование наблюдаемого факта снижения вероятности взрыва на копре Каста с увеличением высоты падения груза. Авторы доказали, что вероятность взрыва необходимо рассматривать как вероятность образования центров разложения и вероятность распространения реакции на весь заряд. Вероятность образования центров возрастает с высотой, однако вероятность распространения взрыва падает при определенных условиях. Причиной является подпрессовка ВВ под действием удара (этот результат перекликается с данными по детонационной способности этих ВВ). Одним из важных результатов явилось обнаруже-

ние в невзорвавшемся образце темных пятен — очагов реакции. Сейчас общепризнано, что химическая реакция при ударно-волновом нагружении возбуждается в отдельных очагах. Позднее Боуден ввел для них термин «горячие точки», который сейчас используется во всем мире.

Другая работа — пример высокого мастерства Беляева-экспериментатора. Он вводил платиновую тонкую проволочку (около 2 мкм) в ВВ для создания микроскопических очагов разогрева. Было установлено, что для возникновения и развития детонации в таких ВВ, как хлористый азот, при давлении 100 атм необходимы источники энергии всего в  $10^{-6}$  кал с временем действия не менее  $10^{-4}$  с.

В годы Великой Отечественной войны, когда ощущался острый дефицит в полноценных ВВ, Беляев провел обстоятельные исследования детонационной способности аммиачно-селитренных, так называемых суррогатированных ВВ, в частности на смесях аммиачной селитры с тротилом (прототип аммонита), и инертным, невзрывчатым горючим — торфом (прототип динамона). Эти работы имели большое научное и практическое значение. В процессе этих исследований были получены принципиально новые результаты: показано, что с ростом плотности заряда критический диаметр детонации смесей аммиачной селитры с горючим возрастает (в отличие от индивидуальных мощных ВВ); введено понятие «нормальное инициирование детонации»; выявлены особенности изменения параметров детонации в зависимости от дисперсности и соотношения компонентов, прочности и массы оболочки. Впервые была установлена возможность устойчивой полноценной детонации в чистой аммиачной селитре без каких-либо добавок. Показано, что аммиачная селитра, по существу, мало чем отличается от других ВВ, однако имеет большой критический диаметр детонации. Беляев правильно объяснил явление канального эффекта, приводящего к опасному отказу взрыва промышленных аммиачно-селитренных ВВ, тем, что ВВ уплотняется под действием продуктов, обгоняющих детонационный фронт и проникающих в зазор между зарядом и стенкой шпура, следствием чего является увеличение критического диаметра и обрыв детонации. Нашли широкое применение его рекомендации о целесообразности использования на взрывных работах смесей аммиачной селитры с жидкими горючими и смесей алюминия с водой. Таким образом, были заложены научные основы для широкого использования аммиачно-селитренных ВВ в народном хозяйстве.

А. Ф. Беляев совместно с Р. Х. Курбангалиной измерил скорость детонации дымного пороха, которая оказалась равной 1300 м/с вместо бытовавшего с подачи Каста значения 400 м/с, что, как показали последующие исследования, соответствует режиму конвективного горения.

Совместно с А. Б. Налбандяном А. Ф. Беляев начал исследования детонации безгазовых (точнее, малогазовых) систем на примере, в частности, хлората калия и алюминия. Отмечалось, что хотя начальные и конечные

компоненты являются твердыми, но промежуточные продукты взрыва находятся в газообразном состоянии. Сейчас эти работы, посвященные так называемой твердофазной детонации, являются предметом ряда исследований.

В научных трудах, посвященных работе взрыва, Беляевым детально проанализированы методы определения работоспособности ВВ. Им дана четкая схема реального баланса энергии при взрыве. Сегодня метод сравнения работоспособности при помощи эквивалентных зарядов известен как метод Беляева.

А. Ф. Беляев одним из первых начал работы по изучению перехода горения пористых систем во взрыв и детонацию, убедительно показав, что причиной такого перехода является нарушение равновесия между притоком газа и его оттоком при горении. В случае твердых пористых ВВ указанное нарушение возникает в результате фильтрации газообразных продуктов горения, проникновения пламени в поры заряда и возникновения режима конвективного горения. Исследования данной проблемы после его смерти были успешно развиты А. А. Сулимовым совместно с А. И. Коротковым. Полученные результаты представлены в монографии [5]. В этой монографии впервые в мировой практике изложены в систематизированном виде физические воззрения на переход горения конденсированных (твердых и жидких) веществ во взрыв и детонацию. Раздел, касающийся устойчивости горения жидких ВВ, написан С. В. Чуйко и В. К. Боболевым. Авторы монографии продуктивно использовали научный подход, который опирается на выделение и раздельное изучение основных промежуточных стадий перехода горения в детонацию (конвективного горения и низкоскоростного режима детонации) и определение критических условий, при которых происходит смена стадий. Этот подход позволил получить полную картину развития взрыва от сплошного кондуктивного горения до детонации и провести детальное изучение переходных стадий в наиболее простых (стабилизированных) условиях. Были детально изучены типичные представители основных классов энергетических материалов: бризантные твердые и жидкие ВВ, пороха, взрывчатые смеси и твердые ракетные топлива. В разделе, посвященном переходу горения во взрыв в твердых пористых веществах, рассмотрено влияние, которое оказывают на характеристики промежуточных стадий и перехода горения в детонацию в целом как свойства энергетического материала (размеры пор, частиц и дефектов материала, начальная пористость и газопроницаемость, физико-механические свойства, реакционная способность), так и внешние условия (прочность и другие свойства оболочки, условия газоотвода, мощность инициирующего воздействия, геометрические размеры заряда). Показаны возможности стабилизации этих процессов в диапазоне скоростей распространения от 1 до 3000 м/с. Изложенные в монографии результаты способствовали решению ряда практических задач, связанных с повышением взрывобезопасности при производстве и обращении с взрывча-

тыми материалами. Кроме того, они заложили основу для полезного целенаправленного использования стабилизированных режимов конвективного горения и низкоскоростной детонации в различных технических устройствах. Монография переведена на английский язык и получила широкую известность.

Сейчас фундаментальное исследование механизмов и закономерностей конвективного горения, низкоскоростной детонации и перехода горения в детонацию в пористых энергетических материалах — основное научное направление работ лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах (лаборатория 13-16 ИХФ РАН). До 2008 г. лабораторию успешно возглавлял ученик А. Ф. Беляева — профессор А. А. Сулимов, а затем — канд. физ.-мат. наук Б. С. Ермолаев. После Беляева данное направление в экспериментальном и теоретическом плане плодотворно и целенаправленно развивали его ученики и последователи: А. А. Сулимов, Б. С. Ермолаев, А. А. Борисов, А. И. Коротков, М. К. Сукоян, Б. А. Хасаинов, В. Е. Храповский, В. А. Фотеенков, В. Ф. Мартынюк, А. А. Беляев, В. Ф. Дубовицкий, А. В. Романьков, В. П. Королёв и др. Численное моделирование переходных взрывных процессов проводилось по руководством Б. С. Ермолаева. В результате этой работы за период с 1973 по 2012 гг. (т. е. со времени выхода монографии) опубликовано свыше 70 статей в широко известных отечественных и зарубежных изданиях. Эти публикации, в которых в обобщенном виде рассмотрены современные представления о взрывных процессах в пористых веществах, включены в сборник «Взрывные процессы в пористых энергетических материалах», с которым можно ознакомиться на интернет-сайте Отдела горения и взрыва ИХФ РАН ([www.combex.ru/lab1316](http://www.combex.ru/lab1316)). Сборник содержит 7 разделов: (1) переход горения в детонацию, развитие взрыва, взрывобезопасность; (2) конвективное горение порохов и ВВ, в том числе конвективное горение в зарядах с низкой пористостью; (3) конвективное горение — перспективный рабочий процесс для ствольных и сопловых устройств; высокоплотные заряды конвективного горения; (4) конвективное горение смесевых композиций, содержащих окислитель (перхлорат или нитрат аммония) и горючее разных типов; (5) неидеальная (в том числе низкоскоростная) детонация твердых ВВ и смесей; (6) вязкопластический механизм ударно-волнового инициирования детонации конденсированных ВВ; (7) управление неидеальными взрывными процессами в высокоплотных высокоэнергетических смесевых составах.

После кончины А. Ф. Беляева лабораторию возглавляли до 1977 г. профессора О. И. Лейпунский и А. А. Борисов, которые очень много сделали для дальнейшего развития сложившихся научных направлений.

В настоящее время в 3-м корпусе ИХФ РАН успешно работают две лаборатории: указанная выше лаборатория 13-16 и лаборатория горения гетерогенных конденсированных систем (13-15), которую возглавляет ученик А. Ф. Беляева профессор Ю. В. Фролов.

Александр Федорович не успел написать книгу, обобщающую результаты его исследований. Уже после его смерти книга [3] была подготовлена к печати его учениками — А. А. Сулимовым, Ю. В. Фроловым и С. А. Цыгановым и вышла в свет (под редакцией Н. Н. Семенова и М. А. Садовского) в 1968 г. В ней собраны наиболее важные работы А. Ф. Беляева, сгруппированные по принципу единства тематики. Книга не только отражает основные воззрения по многим вопросам горения и взрыва, но и дает возможность проследить историю их развития. В книге шесть представительных глав. Глава 1 посвящена горению конденсированных систем (бризантных, инициирующих ВВ, гетерогенных смесевых и термитных составов); в ней анализируется температурный коэффициент скорости горения. В гл. 2 рассмотрено возбуждение взрыва и детонации с описанием условий стационарного режима горения, влияния физических факторов на нарушение послойного горения пористых систем, развития горения в единичной поре (трещине), возбуждения взрыва и детонации при механических и тепловых воздействиях. В гл. 3 излагаются результаты, касающиеся передачи детонации от одного заряда к другому, включая применение закона подобия при взрывах и передачу детонации между зарядами инициирующих ВВ. Глава 4 посвящена детонации конденсированных систем. Она включает исследования по влиянию физических факторов на устойчивость детонации аммиачно-селитренных ВВ (критический диаметр детонации, предельная плотность и связь ее с диаметром заряда, влияние прочной или массивной оболочки, устойчивость детонации чистой аммиачной селитры). Кроме того, в ней представлены данные по детонации смесей на основе перхлората аммония. В гл. 5 рассмотрены вопросы, связанные с работой взрыва: природа фугасного и бризантного действия взрыва, расчет зарядов при взрыве на выброс, метод Беляева на основе сравнения работоспособности при помощи эквивалентных зарядов и др. Глава 6 посвящена взаимодействию ударных волн. В этой книге представлен наиболее полный список основных публикаций А. Ф. Беляева за весь период его научной деятельности.

Необходимо особо сказать об А. Ф. Беляеве, как о прекрасном, искусном экспериментаторе. Он не признавал метод «научного тыка». Если многие исследователи ставят эксперимент, чтобы что-то найти, то он ставил эксперимент, чтобы подтвердить или опровергнуть собственные идеи. Вспоминает М. А. Садовский: «Нам, имевшим возможность работать с А. Ф. Беляевым, была хорошо известна его “удачливость” в эксперименте — почти всегда опыт, им задуманный, давал четкий ответ на поставленный вопрос. Знали мы и причину этой удачливости, заключавшуюся в постоянной сосредоточенности его мыслей на предмете исследования. Где бы он ни был: в лаборатории, дома, на прогулке, — он продолжал обдумывать свою работу и постановку эксперимента для получения решающего результата».

Вся научная деятельность А. Ф. Беляева была неразрывно связана с ИХФ АН СССР, в котором он работал с 1931 г. и до своей скоростной кон-

чины в 1967 г. У А. Ф. Беляева была только одна длительная командировка, связанная с его участием в атомном проекте. В Арзамасе-16 (г. Саров) он руководил созданным им Отделом взрывчатых составов для ядерных боеприпасов. Из-за тяжелейшего инфаркта Беляев был вынужден уехать в Москву, где он вновь занимается горением ВВ и порохов.

Хочется сказать о третьем корпусе ИХФ. Его строительство началось после войны под руководством Ю. Б. Харитона и А. Ф. Беляева, а после отъезда Харитона в Арзамас-16 стройку возглавил Беляев, который проработал в нем начиная с 1948 г. Уникальность 3-го корпуса состояла в том, что в нем находилась первая в СССР взрывная камера, которая была рассчитана на подрыв 5 кг тротила, а само здание было спроектировано в мастерской академика архитектуры А. В. Щусева. До того как были построены взрывные камеры в других корпусах ИХФ, все взрывные эксперименты проводились в 3-м корпусе. Именно здесь под руководством Беляева и Садовского дружно работали многие известные специалисты в области физики горения и взрыва: Апин, Похил, Адушкин, Коротков, Рябинин, Родионов, Стесик, Ромашов, Тамм, Курбангалина, Дремин, Марголин и другие, в том числе большое количество студентов МИФИ и МФТИ.

Мне посчастливилось работать под руководством А. Ф. Беляева начиная с 1958 г. Реально у него работало 6 человек: с.н.с. А. И. Коротков, молодой м.н.с. В. В. Адушкин (сейчас академик, научный руководитель Института динамики геосфер РАН), опытная лаборантка В. И. Белова, с.н.с. Р. Х. Курбангалина с лаборанткой (которые постоянно менялись), старейший сотрудник института (с 1944 г.) механик В. И. Шевков и очень толковый, добросовестный радиомеханик с «золотыми руками» И. А. Запертов. Кроме того, в корпусе работала и только формально числилась в лаборатории Беляева группа из 4 человек, возглавляемая И. И. Тамм, руководство которой осуществлял М. А. Садовский. В 1959 г. появились молодые научные сотрудники, только что окончившие МИФИ (нашу группу) С. Ф. Мазнев и Ю. А. Кондрашков. В том же году начал исследования с.н.с. Н. Н. Бахман, ставший известным специалистом по горению смесевых составов, моделирующих СТРТ. В 1960 г. в лаборатории работали выпускники МИФИ С. А. Цыганов, Д. П. Поликарпов и А. А. Сулимов. В следующем году появились Ю. Ф. Фролов и М. К. Сукоян. В течение нескольких лет лаборатория пополнялась новыми сотрудниками, которые занимали вакансии, выделяемые под развитие работ по твердым ракетным топливам. Так появились Б. С. Ермолаев, А. В. Обменин, Б. А. Хасаинов, Ю. Кичин, В. Никифоров, В. А. Фотеенков, В. Ф. Мартынюк, В. Ф. Дубовицкий, И. Н. Лобанов и др. В этот период А. Ф. Беляев в своей работе опирался на старших научных сотрудников А. И. Короткова и Н. Н. Бахмана, которые были руководителями групп, состоящих из молодых сотрудников.

К молодым научным сотрудникам А. Ф. Беляев относился, как к равным, правильно и своевременно ставил новые актуальные задачи, и его лю-

бимым выражением, когда речь шла о малоисследованной проблеме, было «конь не валялся». Такую проблему, в частности, он поставил передо мной в период выполнения дипломной работы. Необходимо было исследовать послонное, нормальное горение ряда ВВ (тэна, тротила) и порохов (дымного пороха, модельных смесевых порохов) при высоких давлениях (до 2000 атм), а также начать исследования закономерностей перехода послонного горения в конвективное.

Нужно сказать, что вторая часть этих исследований определила, по существу, мои будущие научные интересы на долгие годы: изучение перехода горения пористых систем во взрыв и детонацию. Большое внимание А. Ф. Беляев уделял технике эксперимента. В частности, в процессе выполнения моей дипломной работы нужно было разработать датчик давления с возможностью непрерывной регистрации диаграммы давление–время при горении и взрыве в очень широком диапазоне давлений от 1 до 10 000 атм. Датчик с частотой 100 кГц и линейной характеристикой был разработан (совместно с А. И. Коротковым — известным специалистом в области взрыва) и изготовлен в мастерских ИХФ АН СССР в течение короткого времени (1 год). Этому способствовал богатый опыт, который имел Александр Иванович при разработке пьезокварцевых датчиков давления для регистрации параметров воздушных ударных волн. Вскоре такими датчиками были оснащены все установки лаборатории, включая бомбы постоянного давления, манометрические бомбы и т. п. Эти датчики выдержали испытание временем, успешно работали и появились раньше зарубежных аналогов, уступая им только в геометрических размерах. К лету 1959 г. основная часть моей дипломной работы была выполнена, и мне, студенту 5 курса, было доверено на два летних месяца выехать в качестве лаборанта в командировку под Семипалатинск на спецполигон, где проводились испытания нашего атомного оружия. В группе А. И. Короткова я помогал проводить обработку результатов, полученных при взрыве 300-тонного заряда обычного ВВ (аммонита). Здесь я впервые увидел «живую» воздушную ударную волну, распространяющуюся по поросшей травой степи. После возвращения в Москву я продолжил исследования по основной тематике дипломной работы, которую успешно защитил в 1960 г. (ее рецензентом был А. Г. Мержанов).

Нельзя не сказать об отношении А. Ф. Беляева к своим учителям Н. Н. Семенову и Ю. Б. Харитону, которых он боготворил и которым был бесконечно признателен. Беляев очень тщательно готовился ко всем своим выступлениям и очень волновался. Но когда он докладывал Н. Н. Семенову или Ю. Б. Харитону о своих результатах, это волнение достигало предела. Вся его научная деятельность была неразрывно связана с Харитоном, под руководством которого он проводил исследования, начиная с самых первых работ по передаче детонации в вакууме между частицами азида свинца и заканчивая последними своими работами, когда Александр Федорович по



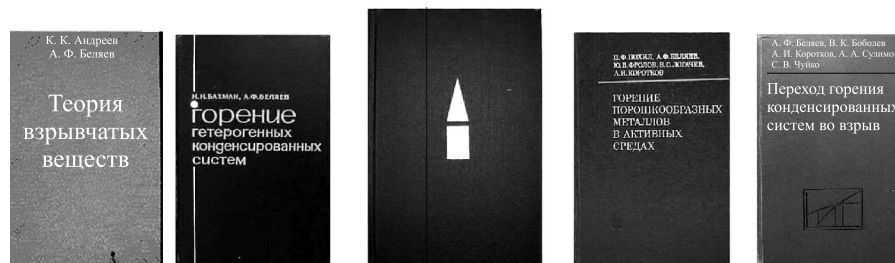


Фото 10 Монографии А. Ф. Беляева

заданию Юлия Борисовича исследовал горение специальных составов, представляющих интерес для Арзамаса-16.

Как следует из представленных фотографий, А. Ф. Беляев общался и работал со многими ведущими учеными в области физики горения и взрыва. В их числе: Я. Б. Зельдович, М. А. Садовский, К. К. Андреев, М. Е. Серебряков, А. А. Шидловский, И. В. Тишунин, а также П. Ф. Похил, О. И. Лейпунский, Ф. И. Дубовицкий, А. Я. Апин, В. К. Боболев и многие другие.

Александр Федорович Беляев был не только крупным ученым, но сердечным, доброжелательным и скромным человеком. Вместе с тем, он проявлял непримиримость всякий раз, когда встречался с легкомысленным и особенно, недобросовестным отношением к науке. По натуре мягкий и отзывчивый, Беляев не терпел делячества в науке. На первый взгляд он производил впечатление замкнутого и малообщительного человека. Но это было чисто внешнее впечатление: его богатый внутренний мир предстал в совершенно ином свете, когда он читал лекцию или выступал с научным докладом на семинаре по интересной для него проблеме. Тогда он вдохновлялся, загорался («светился» изнутри) и даже улыбался. Выступления Беляева всегда представляли интерес. Сохранились очень теплые воспоминания о нем многих из тех, кто с ним работал. Эти воспоминания включены в препринт «Профессор А. Ф. Беляев и его вклад в теорию горения ВВ и порохов», изданный в Черноголовке в 1978 г. Не публиковавшиеся ранее воспоминания Я. Б. Зельдовича представлены на с. 365.

Беляева отличала высокая завидная работоспособность. Так, за период 1959–1966 гг. им было написано 20 статей (подавляющее большинство статей он писал лично по материалам сотрудников). Совместная с К. К. Андреевым монография [1] стала настольной книгой для многих специалистов в области физики взрыва, так же как и упоминавшаяся выше монография [2].

На фото 10 представлены все монографии А. Ф. Беляева.

Беляевым опубликовано более 100 научных статей и 5 монографий, написанных в основном по оригинальным материалам автора и его учеников. Немного найдется сегодня ученых, оставивших своим последователям столь



**Фото 11** Сотрудники лаборатории взрывных процессов в конденсированных средах (13-16) на фоне взрывной камеры 3-го корпуса (2010 г.). Слева направо: А. В. Романьков, А. А. Сулимов, В. Е. Храповский, Б. С. Ермолаев и М. К. Сукоян

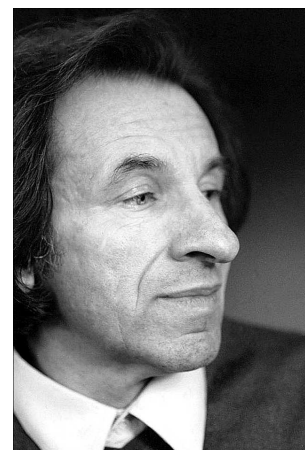
богатое научное наследие. К этим книгам необходимо добавить ранее засекреченные сборники статей «Физика взрыва», которые выходили под редакцией Садовского и Беляева в 1952–1956 гг. В них публиковались работы ведущих советских специалистов в области физики горения и взрыва. В настоящее время эта традиция возрождена и продолжена в издаваемом ежегодно с 2008 г. под редакцией проф. С. М. Фролова сборнике статей «Горение и взрыв» (М.: ТОРУС ПРЕСС), где публикуются работы, представленные на конференциях Отдела горения и взрыва, а также статьи приглашенных авторов из многих российских НИИ и прикладных институтов; весьма интересен в нем раздел «Научная публицистика».



**Фото 12** Ученики, последователи и коллеги А.Ф. Беляева около 3-го корпуса (2007 г.). Слева направо: нижний ряд — А.И. Иванов, Б.Л. Корсунский, С.М. Фролов (зав. Отделом горения и взрыва), Н.А. Халтуринский, А.А. Берлин (директор ИХФ РАН, академик), А.А. Сулимов, Ю.А. Гостинцев, В.И. Пепкин, И.Н. Лобанов; верхний ряд — А.М. Аладышев (зам. директора ИХФ РАН), А.А. Пустовалов, М.К. Сукоян, В.А. Коновалов, В.П. Королев, Д.Б. Мееров и К.А. Моногаров

Александр Федорович был замечательным воспитателем молодежи, прекрасным лектором. Длительное время он читал в МИФИ блестящий курс лекций по горению и взрыву, которые отличались глубиной изложения и простотой подачи материала. Иногда он приносил на лекцию крупицу инициирующего ВВ — азида свинца, который детонирует при поджигании, издавая резкий, громкий звук к удовольствию слушателей и лектора.

В 1971 г. А.Ф. Беляеву совместно с К.К. Андреевым была присуждена (посмертно) Государственная премия СССР за цикл работ по термическому разложению, горению, детонации и работе взрыва конденсированных систем. Фундаментальная значимость работ А.Ф. Беляева как истинно



**Фото 13** Андрей Александрович Беляев (2007 г.)

классических не изменяется со временем, о чем свидетельствует высокая цитируемость его работ как в отечественных, так и в зарубежных научных изданиях. Научное наследие Беляева сейчас успешно развивается в трудах его учеников и многочисленных последователей (фото 11 и 12).

В заключение нужно сказать, что дело отца достойно продолжает его сын Андрей Александрович Беляев (фото 13), который плодотворно работает в ИХФ РАН в различных областях горения и взрыва.

Автор благодарен проф. Ю. В. Фролову за ценные замечания, сделанные при подготовке настоящей статьи, а также с.н.с. А. А. Беляеву за полезное обсуждение и предоставленные фотографии.

### **Монографии А. Ф. Беляева**

1. Андреев К. К., Беляев А. Ф. Теория взрывчатых веществ. — М.: Оборонгиз, 1960. 595 с.
2. Бахман Н. Н., Беляев А. Ф. Горение гетерогенных конденсированных систем. — М.: Наука, 1967. 226 с.
3. Беляев А. Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем / Под ред. Н. Н. Семенова, М. А. Садовского. — М.: Наука, 1968. 255 с.
4. Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В., Логачев В. С., Коротков А. И. Горение порошкообразных металлов в активных средах. — М.: Наука, 1972. 294 с.
5. Беляев А. Ф., Боболев В. К., Коротков А. И., Сулимов А. А., Чуйко С. В. Переход горения конденсированных систем во взрыв. — М.: Наука, 1973. 293 с.