

О В. К. Боболеве и исследованиях механической чувствительности энергетических материалов

А. В. ДУБОВИК

В 1962 г. после окончания МИФИ я был принят в лабораторию чувствительности, которой заведовал Василий Константинович Боболев. Несмотря на большую занятость, он вызвал меня к себе на беседу. Увидев внушительную фигуру в тесном кабинетике, расположенном перед обширной приемной академика Н. Н. Семенова, я поразился несоответствием размеров увиденного. Грандиозную фигуру дополняли громадные очки, висевшие на его не менее объемистом носу, так что по первому впечатлению он представился мне весьма грозной личностью.

К счастью, это впечатление оказалось совершенно ошибочным, поскольку он протянул мне руку, усадил на стул напротив себя и начал с интересом расспрашивать о моей дипломной работе, которую я выполнял в лаборатории детонации (зав. лабораторией А. Я. Апин). Я рассказал о проделанной работе по исследованию детонации с малой скоростью в нитроглицерине и о своем желании ее продолжить. На это он ответил, что поскольку лаборатория сейчас не располагает бронекamerой, то он не может дать согласия на эту работу. Но заметил, что непременно поддержит ее, как только возможности для этого будут, поскольку намечается переезд части сотрудников в недавно построенные для них здания Института физики земли. А пока посоветовал мне заняться чувствительностью жидких ВВ к удару на копре.

Эта идея мне понравилась, а через 3 года лаборатория действительно получила свою бронекamerу. Боболев внимательно следил за моей работой. По этой теме мы опубликовали в соавторстве с Боболевым более 30 научных работ, которые завершились выпуском совместной с ним монографии «Чувствительность жидких взрывчатых систем к удару» (М.: Наука, 1978).

Боболев активно помогал не только мне, рос численный состав групп Г. Т. Афанасьева, И. А. Карпухина, А. П. Глазковой. Вышли в свет монографии «Инициирование твердых взрывчатых веществ ударом» (Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев), «Переход горения конденсированных систем во взрыв» (А. Ф. Беляев, В. К. Боболев, А. А. Сулимов и др.). Достаточно



На заседании Ученого совета ИХФ (1963 г.): О. И. Лейпунский, В. К. Боболев, С. М. Когарко, П. Ф. Похил, К. И. Щёлкин

было подписи Боболева на заказах в производственный отдел или в отдел снабжения, чтобы они немедленно выполнялись. В этом проявлялся его несомненный авторитет и уважение к нему во всем институте. Ну а мы таким образом слегка грелись в «лучах его славы».

С удовольствием вспоминая это время, хочу подчеркнуть, что Боболев никогда не пользовался своим научным авторитетом, чтобы навязывать нам свои собственные представления о чувствительности или детонационной способности ВВ, он умел внимательно слушать и вникать в услышанное. Для этого он каждый месяц устраивал семинары, в которых каждый сотрудник лаборатории отчитывался перед всеми о проделанной работе, выслушивал одобрения или критику товарищей. Он всегда подводил итог этим коллективным выступлениям. И это хорошо действовало на всех нас, все стремились к следующему семинару подготовиться лучше и принести на него какие-то свои новые результаты.

Уважительное отношение ко всем сотрудникам, независимо от их звания, составляло отличительную черту Боболева. Демократизм и общительность проявлялись и в его обязательном участии в коллективных «отмечаниях» тогдашних праздников – 1 Мая, 7 Ноября, 8 Марта и т. д.

Отличавшийся крепким здоровьем, оптимизмом и жизнелюбием, он часто говорил нам, что

будет жить до 100 лет. И так бы, наверное, оно и произошло, но нелепый случай с падением в гололед с сильным ударом спиной о бордюр уличного тротуара привел к заболеванию легких и скоротечной его кончине в возрасте 84 лет.

Прошло много лет, но иногда в разговорах между собой мы частенько вспоминаем крылатые «дяди Васины» выражения: «Это же совсем серьезно», «Деньги только разъединяют людей», «Я поеду в Жердинск (Дзержинск)» и др. И незаметно теплеют голоса разговаривающих.

В последние годы во взрывном деле сложилась такая экономическая ситуация, что занятия механической чувствительностью энергоматериалов оказались в финансовом отношении менее затратными, чем исследования горения или детонации, но и, к сожалению, наименее востребованными практиками. Правда, создатели некоторых видов продукции давно склонились в сторону производства малочувствительных и пожаробезопасных изделий. Однако наивное представление о нечувствительности множества широко используемых энергетических материалов (ЭМ), не только взрывчатых, является не безошибочным.

Например, о чувствительности ЭМ к удару практики судят только по результатам их стандартных (ГОСТ 4545-88) испытаний, в которых удару на копре подвергаются образцы постоянной массы (толщины), а критерием опасности является процент взрывов при сбрасывании груза с фиксированной высоты, обычно 25 см. Признаком взрыва считают появление громкого звука, пламени или дыма. Однако все перечисленные взрывные явления можно иногда наблюдать, например, при испытаниях на удар таких взрывобезопасных материалов, как галоидвиниловые полимеры – поливинилхлорид, поливинилиденхлорид, поливинилиденфторид и др.

Чтобы количественно охарактеризовать эти «взрывы» необходимо использовать нестандартные инструментальные методы испытаний ЭМ на чувствительность к удару – критических давлений и критических энергий, разработанные много лет назад в лаборатории чувствительности ИХФ. Общим для этих двух методов является использование образцов различной толщины или переменной энергии груза. Испытываемые образцы начинают разрушаться при разных давлениях удара и, следовательно, перед их разрушением в копровой системе нагружения запасаются разные величины потенциальной энергии, возрастающие с уменьшением толщины заряда по гиперболическому закону с коэффициентом

пропорциональности, в который входит предел прочности материала заряда на сжатие ударом.

Большая часть запасенной энергии расходуется на возбуждение взрыва в исследуемом разрушающемся заряде. Поэтому для каждого ЭМ существуют критические (минимально достаточные для инициирования) значения давлений и энергий, фиксируемых при некоторой характерной для каждого из них критической толщине заряда, которая четко разделяет между собой области взрывов и отказов (при первом акте разрушений зарядов). Причем критическая толщина заряда, как правило, не совпадает со «стандартной» толщиной, задаваемой стандартной массой ЭМ. Поэтому в испытаниях по стандарту нередко результаты отказов при проведении испытаний высокочувствительного ЭМ или же наоборот – малочувствительный ЭМ дает большой процент взрывов. Более подробные сведения об испытательных методах КД и КЭ можно получить из упомянутой выше книги Г. Т. Афанасьева и В. К. Боболева, а также из недавно опубликованной книги автора «Чувствительность твердых взрывчатых систем к удару» (М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012).

Согласно нашим исследованиям критические параметры инициирования указанных выше «нечувствительных» полимеров, а также ряда неорганических окислителей, оказались на уровне ВВ средней мощности 0,7–1,5 ГПа. Для объяснения происхождения «взрывов» таких веществ обратимся к выводам теории деформационно-теплого взрыва, согласно которым мощность тепловыделения вследствие пластической деформации ЭМ в определенных условиях удара может превысить мощность тепловыделения вследствие протекания в нем химической реакции и таким образом стать реальной причиной его взрыва.

В рассматриваемом случае инициирования полимеров и окислителей высокая мощность деформации ЭМ достигается при прочностном разрушении заряда, в короткое время которого (≈ 10 мкс) накопленная в копровой системе нагружения потенциальная энергия сбрасывается в заряд с помощью серии волновых возмущений, с большой скоростью смыкающихся контактные поверхности ударника и наковальни, целиком расходуясь на радиальный разброс и нагревание вещества. Само же разрушение заряда начинается в тот момент, когда радиальные напряжения, возрастающие в нем по мере роста давления удара, превысят предел прочности на сдвиг вещества заряда на контактных поверх-

ностях ударника или наковальни. Саморазвивающийся (срывной) процесс разрушения заряда объясняется быстрым разупрочнением вещества вследствие степенной зависимости предела его прочности от температуры и степени деформации. Потеря прочности вещества обеспечивается через эффективный канал обратной связи фрикционного разогрева с радиальными перемещениями вещества. Таким образом, при достаточно высокой энергии удара принципиально могут быть «взорваны» даже вещества с не слишком большой эндотермической теплотой разложения. Внешние последствия таких «взрывов» сравнимы со взрывами ВВ.

Радиальное движение разрушающегося заряда начинается с его периферии, а движение центральных (приосевых) участков задерживается до прихода к ним волны разрушения и поэтому в них глубже протекает реакция термического распада полимера вплоть до его карбонизации. Поэтому после удара по тонкому заряду отчетливо видны черные приосевые участки в остаточном слое, желто-коричневые полиеновые структуры в его срединной части и светло-желтая дегидрогалоидированная периферийная область. По мере увеличения толщины заряда окраска слоя, характерная для его периферийных областей, постепенно смещается к оси слоя и, наконец, при критической толщине заряда окраска остаточного слоя полимера практически исчезает. Схожие явления наблюдаются в экспериментах с некоторыми неорганическими окислителями (перманганаты, нитраты, хлораты, бихроматы, персульфаты щелочных металлов и пр.). Эти факты безусловно указывают на протекание в рассмотренных веществах быстропротекающих химических процессов термического распада, стимулированных ударом. Но насколько такие вещества следует считать опасными в обращении?

Различные термохимические расчеты показывают, что экзотермический эффект от протекания наблюдаемых нами взрывоподобных реакций действительно невелик – максимум сотни кДж/кг. Это значит, что такие реакции практически не способны к самораспространению в виде быстрого горения или детонации, по крайней мере, в зарядах лабораторных масштабов (массой не более 0,1 г), поскольку основным источником их протекания является диссипация энергии удара. Однако взрывного развития событий нельзя исключать, допустим, при авариях на многотоннажном производстве рассмотренных материалов, где размеры «зарядов» находятся в



На юбилейном собрании, посвященном 40-летию Победы в Великой Отечественной войне (1985 г.): Н. Н. Семенов, В. И. Гольданский, В. К. Боболев

метровом диапазоне величин, а времена внешних воздействий на них исчисляются минутами. Подлинно аварийного развития событий следует ожидать при смешении галоидсодержащих полимеров или неорганических окислителей с горючей пылью или жидкими горючими (в таких смесях галополимеры выступают в роли окислителей). В этом случае критические параметры механического инициирования указанных смесей снижаются до уровня, характеризующего чувствительность мощных ВВ и высокоэнергетических композиций.

В заключение хочется сказать, что благодаря усилиям сплоченного творческого коллектива ученых, в течение ряда лет возглавляемого профессором В. К. Боболевым, наука о чувствительности ЭМ превратилась из чисто эмпирической науки в экспериментально-теоретическую, использующую современные физические приборы и оборудование с компьютерной обработкой данных. Благодаря доступности быстродействующих персональных ЭВМ и наличия эффективных математических программ удалось решить ряд сложных задач по механическому инициированию зарядов ЭМ с произвольной реологией, подтвердить или опровергнуть ряд положений о механизмах и закономерностях физико-химических процессов, протекающих при возбуждении взрыва. Постоянно развивающаяся методология исследований чувствительности ЭМ позволяет глубже проникать и познавать существо проблем, составляющих основу учения о надежности и безопасности технологических процессов производства материалов и изделий специальной химии.

ДУБОВИК Александр Владимирович –
сотрудник Института химической физики
им. Н. Н. Семенова РАН