

Начальное звено. Химические ВВ в ядерных зарядах

Д. В. МИЛЬЧЕНКО, А. Л. МИХАЙЛОВ

Без малого 80 лет назад в жизнь человечества вошли ядерные технологии. Изначально они были созданы для оружия массового поражения. Затем получил свое развитие «мирный атом», ставший, при грамотных технических подходах, весьма экономичным и экологичным способом получения электрической и тепловой энергии. Что же касается ядерного оружия, то и в наше время остается незаменимой его функция как средства сдерживания глобальной агрессии. Процесс его совершенствования не стоит на месте, хотя в отсутствии полномасштабных испытаний темпы (по понятным соображениям) замедлились.

Одна из значимых предпосылок для его развития – прогресс в разработке мощных химических ВВ – «начального звена» функционирования ядерных зарядов.

В 1939 г. Фредерик Жолио-Кюри (выдающийся французский физик, оставшийся в истории также как пацифист и борец за мир) запатентовал идею о том, что цепная реакция деления

урана может быть инициирована во взрывном режиме, если быстро соединить между собой две урановые детали, каждая из которых имеет массу несколько меньше критической.

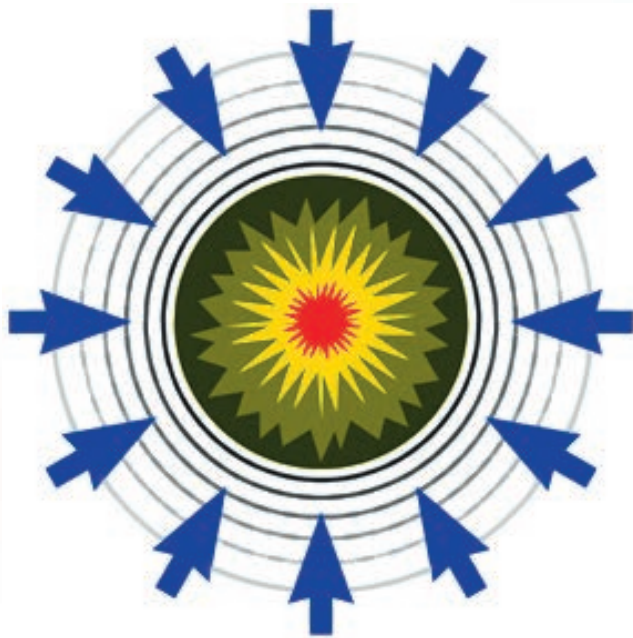
Эта простая схема позволила довольно быстро создать работоспособный ядерный заряд, и была нетребовательной к мощности применяемого ВВ. Впервые примененный в Хиросиме, без единого предварительного испытания, американский Little Boy по существу представлял собой некоторую доработку серийного артиллерийского морского орудия. Стандартного порохового заряда с избытком хватало для придания 36-килограммовой «пуле» из урана-235 достаточной скорости для столкновения с мишенью и развития цепной ядерной реакции.

При всей относительной технической простоте пушечная схема ЯЗ не получила в дальнейшем широкого распространения. Тому были фундаментальные причины. По оценкам, в бомбе Little Boy было израсходовано в цепной реакции не более 2 % урана-235. Все остальное, в значительной степени превратившись в другие изотопы, еще более опасные, чем сам уран, было разбросано по местности, обусловив чудовищный уровень ее радиоактивного заражения. При достаточно ограниченной мощности (15–30 кт ТЭ) пушечная схема заряда была признана чрезвычайно «грязной». Предпринимались определенные усилия по повышению КПД «пушечных» зарядов, но они относились к вопросам управления нейтронными потоками и не имели прямого отношения к химическим ВВ.

В плане повышения мощности ядерных боеприпасов и одновременно снижения долгоживущих радиоактивных выбросов, основное внимание исследователей было привлечено к технологии взрывной имплозии (русский перевод «обжатия»). Кроме урана-235, к цепной реакции деления способен еще плутоний-239 – изотоп, который непосредственно в природе



Испытательный взрыв одной из бомб пушечной схемы. Мощность 23 килотонны в тротиловом эквиваленте



не встречается и синтезируется в реакторах путем контролируемого облучения слаборадиоактивного урана-238. Именно различные варианты имплозивной схемы с плутонием легли в основу большей части разработанных ЯЗ. В одном из наиболее распространенных вариантов, обжатие осуществляется в сферически-симметричной постановке, к центру заряда.

Переход к имплозивной схеме привел к появлению целого комплекса новых требований к применяемому химическому ВВ. Собственно, с этого момента наука о взрывчатых веществах, предназначенных для применения в ЯЗ, и технология производства этих ВВ выделились в отдельную подотрасль, крайне важную и сегодня.

Для того чтобы обеспечить требуемый уровень обжатия плутона в заряде, необходимо создать ВВ, более мощные, чем это было достаточным для простого метания, примененного в «пушечной» схеме. Чем больше теплота взрыва ВВ и одновременно, чем больше количество газообразных продуктов, тем большая работа по обжатию делящегося материала совершается. Соответственно, при одинаковом количестве ВВ можно уменьшить количество делящегося материала в заряде. Либо напротив, решить задачу при помощи меньшего количества ВВ и, тем самым, ощутимо сэкономить в габаритах и массе заряда. Поэтому, «погоня» за увеличением мощности ВВ стала основным трендом как в отечественных, так и в зарубежных разработках ЯЗ с 1950-х по 1980-е гг.

Кроме мощности, требовалась и высокая пространственная однородность параметров детонационной и ударной волны. В идеале, формируемая в ВВ сходящаяся детонационная волна должна быть строго сферической. При этом условии, по первоначальным расчетам, за счет эффекта кумуляции к центру сферы давление должно вырасти столь сильно, что его хватило бы и для прямого инициирования термоядерного взрыва. (Это так называемый газодинамический термоядерный синтез – амбициозная, но до сих пор не решенная задача, несмотря на некоторые успехи). В реальности, одновременное инициирование ВВ по всей поверхности сферы пока энергетически недостижимо. Начальное инициирование осуществляется в ограниченном числе малоразмерных зарядов-инициаторов, откуда при помощи специально сконструированных систем формируется детонационная волна с требуемой геометрией фронта. Легко понять, что требуемая симметрия фронта волны при этом претерпевает определенные искажения, и чтобы свести их к минимуму, в системах инициирования детонации должны применяться ВВ, способные детонировать в зарядах малого диаметра (на профессиональном жаргоне – иметь маленький критический диаметр). При этом, чтобы обеспечить изготовление требуемой конструкции, имеющей сложную конфигурацию, эти ВВ должны также проявлять определенные реологические свойства.

Для облегчения конструкции во многих случаях желательно свести к минимуму применение массивных корпусов. Это означает, что существенная часть механических нагрузок ложится непосредственно на само ВВ, то есть ВВ должно в той или иной мере играть роль конструкционного материала. Достижение требуемой прочности без ухудшения взрывчатых свойств представляет собой еще один тренд в развитии науки и технологии ВВ для ядерных зарядов.

Наконец, большое внимание уделяется вопросам эксплуатационной безопасности. Современные боеприпасы (как ядерные, так и неядерные) должны выдерживать без взрыва максимально жесткие условия аварийных и несанкционированных воздействий, включая термические нагрузки при пожарах, удары при авариях, прострел пулей или осколком. В настоящее время требования международных норм по безопасности ВВ настолько высоки, что на первый взгляд вообще непонятно, как им может соответствовать вещество, по определению являющееся взрывчатым. Тем не менее, и в этом направле-

нии учеными и технологами проводится значительная и результативная работа.

Не существует ни одного ВВ, которое в равной степени удовлетворяло бы всем требованиям одновременно. Например, невозможно сочетать в одном продукте пластичность и высокую механическую прочность. А малочувствительное ВВ едва ли может иметь малый критический диаметр детонации. Поэтому в современных изделиях применяют различные виды ВВ, с комплексом свойств, максимально соответствующих совокупности требований.

Двадцать лет назад («Атом», 2002, № 21, с. 41–44) многолетний руководитель профильного отдела химии и технологии ВВ Института физики взрыва, д.т.н. Л. В. Фомичева опубликовала обзор основных достижений отечественных исследователей в области химии и технологии взрывчатых веществ, применяемых в ядерных боеприпасах. Здесь мы отметим основные вехи развития в этой области, уделив внимание и более новым достижениям.

В первых ЯЗ периода 1949–1954 гг. был применен литьевой взрывчатый состав ТГ на основе тротила и гексогена, который широко использовался и в неядерных вооружениях. Однако уже тогда было понятно, что применение «универсального» ТГ есть полумера, вынужденная ограниченным развитием тогдашней науки и технологии ВВ. Для создания ЯЗ с лучшими эксплуатационными характеристиками требовалась разработка новых взрывчатых составов, обладающих как более высокой мощностью, так и более высокими технологичностью и физической стойкостью.

В течение 50-х гг. XX века были проведены интенсивные исследования в ряде академических и отраслевых институтов, направленные на синтез новых ВВ повышенной мощности. Вероятно, ни в какой другой период времени исследования по синтезу новых ВВ не велись с такой интенсивностью. Однако в конечном счете в серийное производство пошел взрывчатый состав, не потребовавший применения принципиально новых компонентов. Означает ли это, что усилия по поиску новых ВВ были неэффективны, либо потрачены зря? Разумеется, нет. Проведенные исследования дали мощный толчок науке органического синтеза и их результаты пригодились для освоения многих химических продуктов, полезных для народного хозяйства. Но разработчикам взрывчатого состава удалось достичь заданных показателей в целом максимально экономично, эволюционным путем, ис-

пользуя уже сложившуюся сырьевую базу. Как и его предшественник ТГ, новый состав содержал в своей рецептуре гексоген и тротил, однако исследователям удалось не только существенно поднять мощность, но и улучшить технологические свойства разработанного ВС.

В 1960-е гг. произошел качественный скачок в устройстве детонаторов – миниатюрных, но крайне важных составных частей заряда, предназначенных для его первоначального инициирования. До определенного периода в детонаторах использовались специальные высокочувствительные «инициирующие» ВВ, например, азид свинца и подобные ему соединения. Технически с задачей инициирования вторичных (бризантных) ВВ они справлялись, но степень опасности в обращении с ними была слишком велика. Всегда существовал риск несанкционированного срабатывания при каких-либо нештатных воздействиях. Поэтому были разработаны и внедрены электродетонаторы на основе вторичных ВВ. В результате сложных многофакторных экспериментов вторичное ВВ «научили» работать аналогично прежнему инициирующему, при этом значительно повысив безопасность всей конструкции.

Тем временем гонка за мощностью основного ВВ продолжалась. Одна из разработок советских ученых позволила предложить взрывчатый состав, который и по сей день остается наиболее мощным из всех, когда-либо намечавшихся к применению. Его взрывчатые характеристики были исключительными. Уже было принято решение о подготовке к серийному производству вновь разработанного ВВ и состава на его основе. Однако, расширенные испытания выявили некоторые опасные свойства нового ВВ. Его недостаточная химическая стабильность могла привести к инцидентам при длительном хранении изделия. Внедрение не состоялось, но поиск новых мощных ВВ прекращен не был.

Внимание исследователей сосредоточилось на таком мощном ВВ, как октоген. Октоген по своей химической структуре имеет сходство с гексогеном. Он может производиться из того же сырья и по сходной технологии. А вот мощность его заметно выше. Октоген имеет и более высокую термическую и химическую стабильность. Таким образом, снова открывалась возможность эволюционного развития при переходе к новому поколению ВВ. И эта возможность была сполна использована. Первое поколение разработанных октогеновых составов имело ту же связку, что и их гексогеновый предшественник. Однако, в

результате тщательной работы по оптимизации (проверено более 20 вариантов рецептуры), содержание связки было сведено к допустимому минимуму. Это дало двойной выигрыш – как за счет замены основного компонента на более мощный, так и за счет увеличения его количества. Использование составов на основе октогена позволило сделать новый шаг в уменьшении габаритов зарядов и повышении их характеристик. Поэтому именно ядерные заряды с октогеновыми составами в свое время имели не только военное, но и гражданское применение. Они использовались в народном хозяйстве СССР для проведения масштабных горных работ, сооружения подземных хранилищ, тушения пожаров на нефтегазовых скважинах и др.

Разработка и внедрение первого октогенового термопластичного ВС была удостоена Государственной премии СССР в 1970 г. В числе авторского коллектива от ВНИИЭФ – Людмила Валентиновна Фомичева.

Также в 60-х гг. XX в. возникла необходимость в разработке специализированного пластичного ВС. Разработка новых пластичных ВС велась отнюдь не в догоняющем режиме – «у нас возникла проблема и теперь мы будем ее решать». Необходимые изменения были спрогнозированы, и разработки стартовали заблаговременно. В результате были предложены пластичные ВС на основе тэна (ВНИИЭФ: В. М. Некруткин, Л. В. Фомичева, И. П. Хабаров и др.) и на основе гексогена (ВНИИТФ: Е. А. Феоктистова, Б. Г. Лобойко, В. П. Филин и др.). Первый характеризовался более высокой детонационной способностью, что имело существенное значение. Второй обеспечивал более высокую термическую стойкость и несколько меньшую чувствительность. После первоначального периода достаточно острой конкуренции между этими

разработками сформировался круг изделий, где применение того или другого из разработанных ВС было наиболее рациональным.

1970–1980-е гг. характеризовались интенсивной работой над мощными термостойкими составами на основе октогена для применения их в самых различных конструкциях, практически без температурных ограничений при эксплуатации.

Для этого пришлось провести большую работу по выбору полимерных связующих, которые обеспечивают высокую термостойкость и высокую прочность. А также заново отладить технологию изготовления деталей из ВС с новым связующим и при более высоких температурах.

В конечном счете, совместными усилиями предприятий Росатома (на ту пору – Минсредмаш СССР) все поставленные вопросы были решены, и октогеновые составы второго поколения пошли в серию. Разработчики этих ВС также были награждены Государственной премией СССР за 1983 г. В числе лауреатов от ВНИИЭФ – С. М. Бабадей и Л. В. Фомичева.

С конца 1980-х гг. проявляется новая тенденция: принципиальное, качественное повышение безопасности ВВ. Было сочтено возможным и целесообразным в ряде случаев использовать малочувствительное ВВ, даже если оно будет несколько уступать по мощности октогену. Естественным кандидатом на роль нового ВВ для компоновки взрывчатого состава явился триаминотринитробензол (ТАТБ). Это вещество детонирует только при действии достаточно мощного инициатора, и на протяжении многих десятилетий после первого своего синтеза оно вообще не считалось взрывчатым (применялось как желтый краситель, в том числе пищевой). Кроме очень малой механической чувствительности, ТАТБ характеризуется и малой пожарной опасностью, трудно воспламеняется и почти



В. М. Некруткин



Е. А. Феоктистова



Б. Г. Лобойко



И. П. Хабаров

не горит (тлеет в беспламенном режиме). Для взрывчатых веществ такой комплекс свойств уникален, поэтому ВС на основе ТАТБ вызвали несомненный интерес.

При разработке нового малочувствительного ВС был в полной мере учтен богатый научный и технологический опыт, накопленный при разработке октогеновых составов. Однако ТАТБ и составы на его основе проявили ряд особенностей, сделавших не всегда возможным прямое копирование ранее известных подходов к изготовлению деталей. В частности, это сильная пространственная анизотропия кристалла. Потребовалась заметная корректировка технологических режимов изготовления деталей и их последующей стабилизации.

В 2002 г. коллектив разработчиков малочувствительного, пожаробезопасного взрывчатого состава на основе ВВ ТАТБ был награжден премией Правительства РФ (ВНИИЭФ: Л. В. Фомичева, И. П. Хабаров).

Как отмечалось выше, для устойчивого инициирования ВС на основе ВВ ТАТБ необходим мощный детонатор. В принципе, некоторые из уже разработанных ВС могли выполнять эту функцию. Однако они либо не обеспечивали желаемых механических свойств, либо сильно уступали ТАТБ по уровню безопасности (что обесценивало саму идею). Для оптимального решения данной проблемы, по инициативе ВНИИЭФ был разработан новый термопластичный взрывчатый состав с заданным комплексом свойств. Он обеспечивает инициирование малочувствительного ВВ, обладает достаточной конструкционной прочностью и при этом не оказывает критичного влияния на общий уровень безопасности конструкции. Стоит отметить, что и в данном случае при компоновке состава разработчикам удалось обойтись без использования каких-либо принципиально новых, не производимых отечественной промышленностью индивидуальных ВВ.

В 1990-х, начале 2000-х гг. возникли серьезные проблемы с поддержанием технологий производства ВВ для ЯЗ из-за перестройки экономики страны. И в частности, в ту пору началась глобальная кампания по запрещению производства и применения фреонов (фторированных углеводородов). Прессой был поднят немислимый ажиотаж по поводу «озоновых дыр» в атмосфере, якобы возникающих под действием фреонов и способных уничтожить все человечество ввиду проникновения космической радиации. Россия была вынуждена также взять на



С. М. Бабадей



Л. В. Фомичева

себя ограничительные меры по использованию фреонов. А один из них считался незаменимым растворителем на определенной стадии производства ВС.

Ситуация выглядела как минимум неприятно. Впервые разработчики технологий ВВ оказались в ситуации вынужденного реагирования, причем с совершенно неясной перспективой. Начались интенсивные исследования по замене фреона. И здесь упорство и смекалка специалистов вновь принесли свои плоды. Было установлено, что в принципе вместо фреона можно использовать другой растворитель, причем более распространенный, недорогой и достаточно безопасный в обращении (применяется в парфюмерной продукции). Однако это еще не обеспечивало окончательного успеха. Растворы полимеров – объект сложный, структурное состояние полимера могло измениться, что теоретически могло привести к нарушениям технологичности и стойкости формируемого ВС. Поэтому был запущен полный цикл отработки ВС, в таком объеме, как если бы «с нуля» создавалась принципиально новая взрывчатка. Через некоторое время стало понятно, что расчет разработчиков оправдался – все испытания и тесты давали положительный результат. Свойства ВС и изготовленных из него деталей полностью соответствовали ранее партиям, изготовленным по старой технологии. Таким образом, он мог применяться без каких-либо дополнительных условий и ограничений.

За работу по созданию и внедрению технологий, адаптированных к новым экономическим условиям, авторский коллектив был отмечен премией Правительства РФ за 2010 г. Один из лауреатов той премии (С. А. Вахмистров) и сегодня продолжает плодотворно трудиться в отделе химии и технологии ВВ ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ. К сожалению, второй соавтор разра-



С. А. Вахмистров



Н. Н. Титова

ботки, Н. Н. Титова, скоропостижно и безвременно скончалась 28.11.2021 г. в расцвете творческих сил.

Любопытно, что после запуска новой технологии в серию, шумиха мирового масштаба вокруг «опасности» фреонов стала как-то быстро стихать и вскоре практически сошла на нет. Экспертами было признано, что вредоносное действие этих веществ на атмосферу было в десятки раз преувеличено, а сама кампания была следствием конкурентной борьбы на рынке бытовой химии. Запрет на фреоны сильно смягчился, да и «озоновые дыры» в значительной степени вдруг «затянулись».

У читателя, пожалуй, может сложиться впечатление, что работа наших исследователей в области ВВ состоит в основном из сплошных инноваций и внедрений. Это не совсем так. Преобладающая доля приходится на вполне рутинные плановые работы по контролю качества изготовленных партий индивидуальных ВВ и ВС на их основе, а также партий, находящихся на хранении. Эти работы совершенно необходимы, поскольку должна быть гарантирована идентичность свойств всех партий. Особенно важно поддерживать стабильность качества и свойств в условиях, когда полномасштабные испытания недоступны.

Тем не менее, поисковые и внедренческие работы продолжают сегодня и будут продолжаться впредь. В наши дни в области технологии ВВ, как и в других областях оборонной техники, особую важность приобретает импортозамещение. Необходимо полностью исключить использование импортного сырья и комплектующих при производстве индивидуальных ВВ и составов на их основе. А это влечет за собой большой объем работы с потенциальными производителями и их продукцией. Наряду с этим стоит задача создания дублирующих про-

изводства индивидуальных ВВ, чтобы повысить надежность обеспечения ими. Анализ и испытания продукции альтернативных поставщиков также целиком ложатся на плечи специалистов.

Однако и поисковые исследования, и новые разработки не затихают. Так, в институтах Росатома ведутся поиски технологий переработки индивидуальных ВВ, позволяющих повысить детонационную способность ВС на их основе. Применяются различные подходы к этой проблеме. В частности, во ВНИИЭФ разработан пластичный состав на основе гексогена с повышенной детонационной способностью. Он включает в себе лучшие черты более ранних разработок, сочетая при этом работоспособность в зарядах малого диаметра и термическую стойкость. Используемый для этого технологический процесс – принципиально новый, он не применялся ранее на предприятиях отрасли. Продолжаются и поисковые работы в области создания новых видов детонаторов. На сей раз речь идет о замене электрического инициирования на инициирование лазерным импульсом. Это в перспективе может существенно повысить устойчивость к различным видам электромагнитных помех.

Ряд российских организаций, занимающихся синтезом энергетических материалов, работают по заданию наших институтов и в тесной кооперации с ними над разработкой новых веществ и новых методов синтеза. Главный интерес здесь сосредоточен на проблеме создания малочувствительных ВВ высокой мощности.

В целом коллективы разработчиков ВВ, поддерживая в своей работе компетентность и профессионализм, готовы и впредь решать ответственные задачи, которые будут поставлены перед ними в интересах развития ЯОК России.

Впрочем, науки и технологии развиваются по своим законам, в зависимости от потребностей и технологической готовности общества, и те вехи в создании ВВ для ЯЗ, о которых мы рассказали, характерны для всех государств ядерного клуба независимо от географических границ и общественного строя.

МИЛЬЧЕНКО Дмитрий Владимирович –

кандидат химических наук,
ведущий научный сотрудник ИФВ

МИХАЙЛОВ Анатолий Леонидович –

заместитель научного руководителя РФЯЦ-ВНИИЭФ,
доктор технических наук, лауреат Государственной
премии и двух премий Правительства РФ