

М.И. Баранов

**АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.
ЧАСТЬ 4: ИЗОБРЕТЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**

Наведено короткий нарис з усесвітньої історії винаходу хімічних вибухових речовин, що знайшли широке застосування при вирішенні різних військово-інженерних і народно-господарських завдань.

Приведен краткий очерк из всемирной истории изобретения химических взрывчатых веществ, нашедших широкое применение при решении различных военно-инженерных и народно-хозяйственных задач.

ВВЕДЕНИЕ

В свое время известный в области механики, аэродинамики, разработки и создания летательных аппаратов русский ученый, авиастроитель-изобретатель, академик АН СССР Б.Н. Юрьев говорил следующее [1]: *"Изучение истории науки и техники помогает каждому научному работнику и инженеру не только в изучении его специальных дисциплин, но и позволяет создать более широкий и правильный взгляд на законы ее развития и на ее место среди других наук"*. Это в полной мере относится к физике и технике взрыва газообразных и конденсированных веществ. Взрыв сейчас является одним из самых мощных в мире источников импульсных силовых нагрузок на разнообразные объекты природы и техники. В далеком 18-ом веке великий русский ученый-физик и химик М.В. Ломоносов (1711-1765 гг.) относительно указанного научно-технического термина "взрыв" высказался следующим весьма определенным образом [1, 2]: *"Взрыв — это очень быстрое выделение большого количества энергии и большого объема газов"*. В настоящее время с учетом накопленного человечеством объема знаний в рассматриваемой области под "взрывом" понимается чрезвычайно быстрое выделение энергии в ограниченном пространстве с активной зоной, приводящее к уплотнению, перемещению и разрушению окружающей ее (зону) среды [3]. Широкая сфера приложения энергии взрывчатых веществ (ВВ) в наше время охватывает решение различных как народно-хозяйственных, так и военных задач. Это касается практики горного дела, промышленного и ирригационного строительства (разрушение и перемещение горной породы [4]), технологических процессов в машиностроении (изготовление высокопрочных металлических композиций, сварка, резка и штамповка деталей [5]), практики нефтегазодобычи (торпедирование скважин и строительство подземных хранилищ [6]) и практики военно-инженерного дела (изготовление боезарядов патронов, снарядов, мин, торпед, бомб и ракет для разрушения и уничтожения боевых целей [7]). В рамках предлагаемого читателю краткого научно-исторического очерка автор вынужден ограничиться рассмотрением основных выдающихся достижений в науке и технике взрыва химических ВВ.

1. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ, ВИДЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКИХ ВВ

В глубокой древности (в 7 веке н. э.) в Византии был изобретен так называемый *"греческий огонь"* — зажигательная смесь, состоящая из калиевой селитры, серы и нефти и предназначенная для уничтожения

крепостей и кораблей противника [8] (рис. 1). Поджигание в воздухе этой смеси в закрытом металлическом сосуде приводило по мере ее быстрого сгорания и образования горячих газов к резкому возрастанию в нем (сосуде) давления, сметающего через узкое отверстие в сосуде языки пламени на значительные от него расстояния. Уже тогда было известно удивительное явление, связанное с тем, что, например, древесина, пропитанная водным раствором указанной селитры и зажженная на воздухе, продолжала гореть и под водой. Это явление широко использовалось пловцами и охотниками за морскими сокровищами. Значительно позже усилиями ученых-химиков была установлено, что такое горение обуславливалось процессом разложения калиевой селитры и обильно выделяемым при этом кислородом, необходимым для поддержания под водой горения древесины (процесса ее окисления).



Рис. 1. Боевое применение "греческого огня" для уничтожения арабских кораблей при осаде с суши и моря Константинополя (717 год н. э.) [8]

В дальнейшем за счет измельчения калиевой селитры и горючего материала (серы и древесного угля) был получен *"дымный черный порох"*, явившийся первым в мировой истории техники химическим ВВ [1, 8]. Исторически считается, что изобретателем этого пороха является китаец Сунь Си Мяо, изготовивший это химическое ВВ из смешиваемых в определенной пропорции серы, калиевой селитры и древесного угля (рис. 2) около 650 года н. э. [8]. И хотя китайцы не смогли тогда научно объяснить протекающую при горении дымного пороха взрывную химическую реакцию, они очень скоро стали использовать его в боевых действиях. Известно, что дымный порох в 11-ом столетии применялся в ручных гранатах и зажигательных бомбах, запускаемых в сторону противника боевыми метательными машинами. В 12-ом веке китайцы с применением черного дымного пороха

в качестве внутреннего боезаряда начали изготавливать мощные фугасные бомбы с толстыми корпусами из литого железа, начиненные шрапнелью (например, короткими железными стрелами и стержнями) [1, 8].



Рис. 2. Внешний вид основных компонент дымного пороха (сверху слева-направо серы, калиевой селитры и древесного угля), применяемых при его (внизу) изготовлении [8]

Дымный порох как химическое ВВ был активно применен китайцами в 1226 году при обороне Пекина от нашествия монгольских войск Чингисхана [1]. В конце 13-го столетия военными применялись уже земляные мины с механическим запалом, срабатывающим при наступлении на него воина неприятеля [8]. Считается, что дымный порох у китайцев был первоначально заимствован арабами, а затем и народами Западной Европы, через которую попал на территорию Киевской Руси и соответственно России [1]. Первые достоверные источники (старинные летописи) свидетельствуют о том, что использование дымного пороха на Руси в больших объемах относится к 1382 году, когда русское войско при обороне Москвы от нашествия татаро-монгольских орд хана Тохтамыша применило артиллерию [1]. Сначала на Руси дымный порох применялся, в основном, для стрельбы из пищалей и мортир, а затем со второй половины 16-го столетия – и для военно-инженерных целей. Выдающимся по тому времени для русских артиллеристов был опыт по боевому применению дымного пороха, полученный при осаде в 1552 г. Казани. Тогда русские умельцы продемонстрировали высокую точность при расчете величины пороховых зарядов, предназначенных для разрушения казанской крепостной стены. Сделано это было задолго до разработки французскими специалистами де Виллем, С. Вобаном и Б. Белидором расчетных методик по определению взрывных характеристик дымного пороха [1, 6]. Следует отметить, что в 1628 г. французский военный инженер де Вилль в труде "*Фортификация*" привел первую в истории взрывной техники формулу для расчета величины заряда Q_3 черного дымного пороха, используемого при подрывных работах [1]: $Q_3 = m_3 \cdot W_3$, где m_3 – коэффициент, учитывающий свойства грунта; W_3 – глубина заложения в грунте порохового заряда. Рассчитанный по данной формуле заряд Q_3 должен был образовывать в грунте коническую воронку с радиусом ее выходящего наружу основания, равным W_3 .

Дымный черный порох долго сохранял свое боевое предназначение как метательное ВВ для огнестрельного оружия и был лишь в 19-ом столетии заменен своими бездымными сортами. Однако как разрушающее средство дымный порох в 18-ом веке уже стал не соответствовать все возрастающим требованиям по увеличению разрушительной силы ВВ, чувствительности к инициированию и скорости горения (взрыва). В этот период в области взрывной техники остро встал вопрос о создании новых более мощных ВВ. В решении этого вопроса история отвела особую роль открытию великим русским ученым-химиком М.В. Ломоносовым свойств различных органических веществ ("жирных материй"), обработанных азотной кислотой [1, 2]. М.В. Ломоносов в своей работе "*Слово о пользе химии*" от 1751 г. писал [1]: "*Через слитие сильной селитряной (азотной) кислоты (кислоты) с некоторыми жирными материями наблюдается не только страшное кипение, дым и шум, но и яркий пламень в мгновение ока воспламеняется*". На основе данного положения за сравнительно короткий исторический срок в мире было создано (изобретено) различное множество мощных химических ВВ, некоторые из которых применяются и по сей день [1, 9]. Так, в период 1872-1886 годов Г. Шпренгелем и Э. Тюрпеном были обнаружены и исследованы взрывные свойства **пикриновой кислоты** (тринитрофенола) – конечного продукта воздействия азотной кислоты на фенол. Более полные опыты и исчерпывающие сведения по взрывным свойствам плавленного тринитрофенола (в России это ВВ получило название **мелинита**) и методам его снаряжения боеприпасов принадлежат русскому военному инженеру С.В. Панпушко [1, 6]. В Японии это новое химическое ВВ было известно как **шимоза**. Благодаря большой скорости детонации (это слово происходит от латинского "*detonare*" – "*прогреметь*" и означает быстрое химическое превращение ВВ [10]) и низкой стоимости **пикриновой кислоты** в качестве мощного химического ВВ долго оставалась на вооружении многих стран мира. Недостатки этого ВВ (боеприпасы с мелинитом нельзя было долго хранить из-за его взаимодействия в присутствии влаги с их металлическими частями и образования в итоге легко взрывающихся соединений) и последовавшее в недалеком будущем открытие более безопасного и мощного химического ВВ – **тротила** (тринитротолуола) привело к практически полному отказу от использования пикриновой кислоты в качестве ВВ [1, 6]. Забегая несколько вперед, заметим, что изобретение широко применяемого и сейчас мощного химического ВВ **тротила** было совершено немецким химиком К. Вильбрандом в 1863 году. Его он получил путем осуществления процесса нитрации толуола смесью азотной и серной кислот [1, 6]. Однако, сохраняя хронологию событий, вернемся к открытиям в области взрывной техники до изобретения тротила.

Подлинный переворот в военной и гражданской взрывной технике произошел после почти одновременного открытия русским военным инженером А.А. Фадеевым в 1845 году **пироксилина** и итальянским химиком А. Собrero в 1846 году **нитроглицерина** (глицерин-тринитрата) [1]. В Италии нитроглицерин был получен путем обработки глицерина (этого трех-

атомного спирта жирного ряда) азотной кислотой в присутствии серной кислоты, связывающей выделяющуюся при этой химической реакции воду. В чистом виде нитроглицерин представляет собой бесцветную маслянистую ядовитую жидкость, чувствительную к огню и механическим воздействиям (температура его вспышки составляет 180°C , а горение быстро переходит во взрыв) [1, 6]. Скорость детонации (скорость взрывного разложения) для нитроглицерина достигает 9150 м/с , а его теплота образования составляет $83,91\text{ ккал/моль}$ [1]. Нитроглицерин весьма опасен в обращении и не пригоден к применению в качестве ВВ в чистом виде. Поэтому его изобретение поначалу не привлекло пристального внимания специалистов-взрывотехников. Да и сам А. Собrero, как часто бывает в среде увлеченных людей, не придавал своему изобретению нового вещества серьезного значения и практически не думал об области его технического применения. Здесь следует заметить, что ко времени открытия нитроглицерина химикам было известно много взрывчатых химических соединений, которые из-за большой опасности в процессе изготовления и хранения или дороговизны не нашли своего практического использования. Однако **нитроглицерин** ждала другая участь – он стал основой для изобретения в скором будущем многих мощных химических ВВ. Опыты известного русского ученого-химика Н.Н. Зинина с нитроглицерином, проведенные в период 1854-1855 годов, показали, что это вещество с определенными добавками может быть использовано в качестве мощного ВВ. В связи с прекращением Крымской войны и заключением в 1856 году Парижского мирного договора интерес к указанным работам Н.Н. Зинина в России был потерян. Тем не менее, принимавший участие в опытных взрывах Н.Н. Зинина, в которых нитроглицерин играл главнейшую роль, русский военный инженер В.Ф. Петрушевский продолжил опасные взрыво-технические эксперименты. Результатом их явилось открытие им в 1859 году нового мощного химического ВВ – **динамита**, представляющего собой смесь из нитроглицерина (75 % по весу) и углекислой магнезии (25 % по весу) [1,6]. Используя результаты работ В.Ф. Петрушевского, известный шведский предприниматель-изобретатель Альфред Нобель (1833-1896 гг.) создает в Западной Европе (в Стокгольме, Гамбурге и др. городах) при своем долевым финансовом участии сеть заводов по производству динамита. В 1867 году А. Нобель (рис. 3) для защиты своих авторских прав и получения больших денежных отчислений от этих заводов за использование его интеллектуальной собственности при производстве мощных ВВ получает патент на изобретенное им новое химическое ВВ, названное **гур-динамитом** (при создании этого мощного ВВ им для отличия от формулы русского динамита вместо углекислой магнезии по способу В.Ф. Петрушевского нитроглицерином пропитывалась инфузورная земля – кизельгур). В этот период масштабы производства гур-динамита на указанных заводах возрастают с каждым годом (например, в 1874 году объем его изготовления составил 3120 тонн, а число европейских динамитных заводов возросло до 14 [1]). Очередным мощным толчком к расширению производства на этих заводах гур-

динамита явилось техническое усовершенствование А. Нобелем взрывного запала капитана русской армии Д.И. Андриевского (пороховой запал было предложено в очередном патенте А. Нобеля заменить на более эффективный взрывной запал с гремучей ртутью).

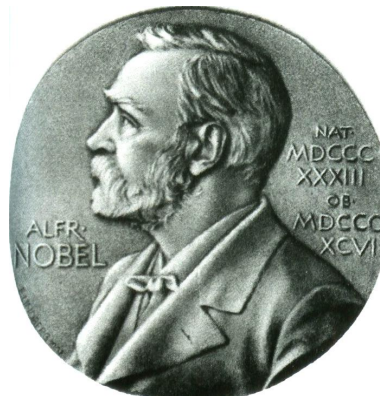


Рис. 3. Известный шведский инженер и изобретатель мощных химических ВВ Альфред Нобель (1833-1896 гг.)

Слава и богатство А. Нобеля росли с каждым годом (вот очевидно откуда взялись в его посмертном фонде первоначальные финансовые средства на крупные денежные выплаты по ежегодным Нобелевским премиям, начиная с 1901 года), а имя действительного первооткрывателя мощных химических ВВ – динамитов русского изобретателя В.Ф. Петрушевского было надолго забыто. В 1867 году шведские инженеры И. Ольсен и И. Норбин получили патент на новые химические ВВ – **аммониты**, созданные на основе аммиачной селитры [1, 6]. Для устранения их конкуренции гур-динамиту на рынке мощных химических ВВ предприимчивый А. Нобель приобрел этот патент и 12 лет хранил его в своем сейфе. Только в 1879 году он, используя данный патент, получает свой патент на ВВ, названное им **аммонжелатин-динамит** (в отличие от известного изобретения он в аммонит добавил нитроглицерин) [1]. В настоящее время химические ВВ такого типа, относящиеся к группе нитроглицериновых ВВ, выпускаются почти во всех странах мира. В начале 20-го столетия появились химические ВВ, состоящие из аммиачной селитры и алюминия и названные **аммоналами** [1]. Например, в Англии был изобретен аммонал, содержащий 72 % аммиачной селитры, 23,5 % порошкообразного алюминия и 4,5 % древесного угля [1, 6]. До распада СССР в наших республиках выпускался аммонал скальный № 3 (порошкообразная смесь тротила и алюминиевой пудры с добавкой гексогена) и аммонал скальный № 1 (прессованная смесь аммиачной селитры, тротила, гексогена и алюминиевой пудры) [1]. В бывшем СССР длительное время широко применялся 62 %-ный динамит, содержащий 62 % нитроглицерина, 3 % коллоидного хлопка, 27 % калиевой (натриевой) селитры и 8 % древесной муки [1, 6]. Данный динамит замерзал при температуре -10°C . Поэтому вскоре появился труднозамерзающий 62 %-ный динамит (в него добавляли 25 % по весу нитроглицероля), температура замерзания которого понижалась до -20°C [1]. В дальнейшем в СССР использовались главным образом низкопроцентные нитроглицериновые ВВ [1, 6]:

аммонит № 15 малоплотный (8 % нитроглицерина); победит ВП-2 или ВП-4 (9 % нитроглицерина); победит ВП-7 (15 % нитроглицерина); динамит Д-3 (35 % нитроглицерина); серные аммониты № 1 и № 2 (5 % нитроглицерина); детониты 6А, 10А и 15 А (соответственно 6, 10 и 15 % нитроглицерина); детонит М (10% нитроглицерина). Для взрывных работ в угольных, серных и нефтяных шахтах с достаточно высоким содержанием в их воздушной атмосфере метана, угольной и серной пыли и нефтяных паров обычно используются низкопроцентные нитроглицериновые ВВ с содержанием нитроэфира до 10 % следующих марок [1]: селектит № 1; углениты № 5, 7 и 7-У; серный аммонит № 1-ЖВ; нефтяной аммонит № 3-ЖВ; аммонит АП-5ЖВ.

Что касается бездымных сортов пороха, то здесь следует сказать то, что многие попытки в мире его изобретения заканчивались безуспешно. Не "пошел" во взрывную практику "говардов порох", являющийся смесью гремучей ртути и калиевой селитры. Аналогичная судьба постигла и бездымный порох А. Нобеля, состоящий из смеси нитроглицерина и пироксилина. С момента открытия пироксилина (1845 г.) долгие годы не удавалось применить это химическое ВВ в боезарядах для метательных целей (стрельбы). К проблеме изобретения бездымного пороха военным ведомством России в конце 19-го столетия был привлечен и выдающийся русский ученый-химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907 гг.) [11]. Результатом напряженной работы этого ученого было создание на базе пироксилина *бездымного пороха* – пирокolloдия, пригодного для снаряжения большинства стрелковых боеприпасов (патронов и снарядов) [1, 6]. В 1892 году после успешных испытаний на морских кораблях этого пороха, в которых принимал участие легендарный русский адмирал С.О. Макаров, созданный Д.И. Менделеевым бездымный порох (пирокolloдий) был принят на вооружение военно-морским флотом России. Хорошо знакомый с манерой западных "дельцов от науки" заимствовать результаты трудов русских ученых и пытаться с незначительной доработкой выдавать их за исконно свои (вспомним, например, хотя бы истории открытия периодического закона химических элементов [11] или динамита) Д.И. Менделеев вскоре после организации производства изобретенного им бездымного пороха (*пирокolloдия*) на Шлиссельбургском заводе написал следующее [1]: *"Так как рано или поздно образцы пирокolloдия попадут в руки опытных химиков и они разыщут способы его приготовления, то желательно чтобы за Россией осталось не только право первого пользования открытием, в ней сделанном, но и та доля научной чести, которая с ним связана"*.

Военная и гражданская практика применения химических ВВ поставила перед специалистами насущный вопрос об одновременном использовании многих отдельных зарядов. Для решения этой задачи в 1879 году К. Мессеном был впервые предложен детонирующий шнур, первоначально представляющий собой тонкую хлопчато-бумажную цилиндрическую оболочку, начиненную гранулированным пироксилином [1, 6]. В 1890 году французские военные инженеры предложили детонирующий шнур выполнять с

оловянной оболочкой, начиненной мелинитом. С 1904 года получил распространение тротилловый шнур в свинцовой оболочке. В 1909 году французские военные специалисты-взрывники предложили тетриловый, а шведские инженеры в 1919 году – тэновый детонирующий шнур [1]. В бывшем СССР, начиная с 1927 года, детонирующие шнуры изготавливались в виде тонкой нитяной оболочки, наполненной флегматизированной смесью азидов свинца и теллура [1, 6]. С 1928 года указанная оболочка шнура стала заполняться одним азидом свинца. В 1931 году был выпущен детонирующий шнур марки ДШ-31 с флегматизированной гремучей ртутью, а в 1934 году – детонирующий шнур марки ДШ-34, внутренняя начинка которого состояла из смеси гремучей ртути, тетрила и желатина [1]. В конце 20-го века в СССР выпускались следующие марки детонирующих шнуров [1, 6]: ДШ-А, ДШ-Б, ДШ-В и ВДШМ-3, имеющие снаряженную внутренним взрывообразным тэном (с расходом ВВ до 12 г/м) трехслойную нитяную оплетку, покрытую водоизолирующей мастикой и полихлорвиниловым пластиком. Для выполнения специальных взрывных работ промышленным путем изготавливались гексогенные детонирующие шнуры марок ДШТ-135, ДШУ и ДШТ-180 (для применения ВВ в условиях высоких температур), а также марок ДШТ-200 (снаряжен октогеном), ДШП-1 и ДШП-2 (для взрывания ВВ в активных газовых средах) [1]. Погонная масса таких детонирующих шнуров колеблется от 12 до 35 г/м.

Взрывание химических ВВ (зарядов) осуществляется, как правило, огнем (*первый* вариант) или электрическим (*второй* вариант) способом [1, 7]. В *первом* случае используется капсюль-детонатор, представляющий собой цилиндрическую гильзу, в дно которой впрессован 1 г вторичного инициирующего ВВ (например, тетрила, тэна или гексогена) [1]. В эту же гильзу над вторичным инициирующим ВВ запрессовывают первичный инициатор подрыва (например, 0,5 г гремучей ртути, 0,2 г азидов свинца или 0,1 г теллура) [1]. Оставшаяся наружная часть гильзы ничем не заполняется и служит для ввода в нее огнепроводного шнура. Для возбуждения взрыва в основном ВВ (заряде) в него помещают капсюль-детонатор со вставленным концом огнепроводного шнура, который поджигают с противоположной (наружной) стороны. Когда огненное пламя шнура достигает дульца капсюля-детонатора, оно вызывает взрыв первичного инициатора, а тот, в свою очередь, инициирует взрыв вторичного инициатора. Срабатывание последнего возбуждает детонационную волну в основном химическом ВВ (заряде) и приводит к его подрыву. Следует указать, что эффективное инициирующее ВВ – *тетрил* было открыто в 1877 году голландским химиком Ромбургом на основе исследований русского ученого-химика Н.Н. Зинина путем последовательной обработки серной и азотной кислотами диметиламина [1]. Это химическое ВВ сильнее тротила и пикриновой кислоты и поэтому оно нашло широкое применение при изготовлении детонаторов как вторичное инициирующее ВВ. В бывшем СССР выпускались капсюли-детонаторы следующих марок [1, 6]: № 8-А (алюминиевая гильза); № 8-М (медная гильза); № 8-Б (бумажная гильза); № 8-УТМ и № 8-УТБ (с усилен-

ными гильзами). Во *втором* случае в капсуле-детонаторе вместо огнепроводного шнура применяется электрозапал в виде тонкой нити накала [1, 7]. Такие устройства называются электродетонаторами. Они бывают мгновенного (взрыв основного ВВ или заряда происходит непосредственно после подачи электрического напряжения в цепь электродетонатора и его нити накала), короткозамедленного и замедленного действия. Промышленность бывшего СССР выпускала следующие марки электродетонаторов [1, 7]: мгновенного действия – ЭД-8 (водостойкий), ЭД-8П (предохранительный по отношению к метановоздушной среде), ЭД-8ЗПС, ЭД-8-Ж, ЭД-8ПМ (предохранительный повышенной мощности); короткозамедленного действия – ЭД-КЗ (с замедлением 25-250 мкс), ЭД-КЗ-15 и ЭД-КЗ-ПМ-15 (с замедлением 15-120 мс), ЭД-КЗ-ПМ-25 и ЭД-З-Н (с замедлением 15-1000 мс); замедленного действия – ЭД-ЗД (с замедлением 0,5-10 с). Следует отметить, что в 20-ом столетии электродетонаторы, аналогичные вышеуказанным советским, выпускались также и большинством промышленно развитых зарубежных стран [1, 7].

Представленные выше данные из области взрывной техники свидетельствуют о том, что арсенал взрывных средств на основе химических ВВ, используемых в военно-инженерном деле и гражданских целях, непрерывно обновляется. От слабого *дымного пороха* на начальном этапе до *пикриновой кислоты, пироксилина, динамита, тротила, аммонита, аммонала, тетрила, детонита, гексогена* и других мощных химических ВВ на современном этапе – таков путь развития мировой взрывной техники и техники снаряжения боеприпасов обычного вооружения.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ВЗРЫВА ХИМИЧЕСКИХ ВВ

Исходя из приведенного нами ранее определения термина "взрыв", химическое ВВ можно считать таким химическим соединением, которое под влиянием внешних импульсных воздействий (резкого нагрева, удара) подвергается чрезвычайно быстрому химическому превращению – наступлению в его материале взрывной реакции с выделением больших величин химической энергии и образованием больших объемов разогретых газов, способных совершать огромную работу по уплотнению, перемещению и разрушению окружающей его (ВВ) среды. Удельные показатели химической энергии, выделяющейся при взрыве мощных химических ВВ, достигают значений порядка 10^{10} Дж/м³ [12]. Используя этот показатель удельной химической энергии, нетрудно подсчитать величину энергии, которая может выделиться при подрыве тротилового заряда ВВ размером $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ м³. Она окажется огромной и равной 10 МДж. Автору как электрофизику многократно приходилось иметь дело с выделением в воздушном пространстве на электрической активно-индуктивной нагрузке электрической энергии величиной порядка 1 МДж, запасаемой в высоковольтных конденсаторах или емкостных накопителях энергии (ЕНЭ) мощной испытательной электрофизической установки [13]. Выделение на электрической нагрузке, расположенной на открытом воздухе, за время порядка десятков и сотен микросекунд

даже такого количества электрической энергии оказывает на человека просто ошеломляющее эмоционально-физическое воздействие. Для обеспечения сильного нагревания выделяющихся при взрыве газов и паров и создания в них высокого давления необходимо чтобы [1, 6]: 1) либо энергия выделялась в этих газах; 2) либо она была передана им до того момента, пока еще не произошло заметных потерь энергии и увеличения объема этих газов. Из этого становится ясным, что процесс взрывчатого химического превращения (процесс разложения или детонации) твердых тел в газообразное состояние должен распространяться в ВВ со скоростью v_d , намного превосходящей скорость расширения взрывных газов. Быстрота выделения и огромные импульсные давления (порядка сотен тысяч атмосфер [1, 6]) сжатых газов в процессе их расширения от локальной области активной зоны взрыва химического ВВ вызывают в окружающей среде акустическую волну возмущения, которая называется ударной волной. На фронте такой ударной волны происходит скачкообразное изменение температуры и плотности среды со сверхзвуковой скоростью. Справочно отметим, что скорость звука для сухого воздуха при температуре 0°C составляет 331,2 м/с [3]. При взрыве химических ВВ в твердых средах начальная скорость расширения газов от центра его активной зоны достигает 1 км/с [1, 6]. В то же время скорость распространения процесса взрывного химического разложения (скорость детонации v_d) в подрываемом промышленном химическом ВВ составляет, как правило, от 2 до 9 км/с [1, 6].

Химические ВВ представляют собой относительно неустойчивые химические системы, способные под влиянием внешних импульсных воздействий (тепловых и механических ударных нагрузок) к быстрым экзотермическим превращениям с разрывом внутримолекулярных связей и образованием газообразных сильно нагретых продуктов. В таких химических системах каждая молекула вещества содержит все необходимое для развития взрывной реакции (наступления взрыва). Как правило, молекулы химического ВВ состоят из двух групп активных атомов, разделенных между собой химически малоактивной атомной "перегородкой" или "прокладкой", в качестве которой чаще всего выступает атом азота [1, 6]. Качественно взрыв химических ВВ согласно [1] происходит по следующей упрощенной схеме. Под влиянием, например, внешнего теплового импульса скорость движения молекул ВВ возрастает, что приводит к увеличению сил межмолекулярных взаимодействий (соударений). При достаточно сильных соударениях непрочные разветвленные молекулы ВВ разрушаются в том месте, где находятся "прокладки" из атомов азота. В результате чего появляется возможность непосредственных соприкосновений между собой активных молекулярных групп ВВ, приводящих к бурным взрывным реакциям между ними с выделением больших величин химической энергии. Чем больше объем образовавшихся после взрыва ВВ газов и паров по сравнению с объемом химического ВВ до его взрыва, тем будет больше и сила его взрыва. Для большинства промышленных химических ВВ объем газов, образующихся при подрыве 1 кг ВВ, при нормальных ат-

мосферных условиях (давление воздуха 760 мм рт. ст., а его температура 0°C [3]) находится в пределах 600-1000 литров [1]. Так как согласно известным данным из взрывной техники температура газообразных продуктов при взрыве химических ВВ достигает величины 3200°C [1, 6], то указанный выше объем образующихся от подрыва химического ВВ газов может увеличиваться в десятки раз. Другим важным физико-техническим фактором, характеризующим химическое ВВ, является запас в его единице объема потенциальной энергии, которая может освобождаться при его взрыве. Потенциальная энергия для различных химических ВВ изменяется от 600 до 1600 ккал/кг [1, 6]. По сравнению с известными горючими материалами (например, для керосина она составляет 11000 ккал/кг, а для мазута 10500 ккал/кг [3]) эти величины потенциальной энергии для химического ВВ выглядят незначительными. Однако здесь решающую роль играет скорость выделения этой потенциальной энергии вещества. Например, мощность взрыва 1 кг такого химического ВВ как динамит за характерное время взрывного химического превращения его вещества (разложения или детонации) в 20 мкс достигает огромного значения, равного $3 \cdot 10^8$ л.с. = $2,2 \cdot 10^{11}$ Вт [1, 3]. Кстати, такие пиковые значения импульсной мощности характерны и для импульсных электромагнитных процессов, протекающих при сильноточных электрических разрядах в газовых и конденсированных средах, формируемых устройствами высоковольтной импульсной техники (они наблюдаются при выделении на *RL*-нагрузке электрической энергии в 1 МДж за время разряда высоковольтного ЕНЭ в 5 мкс) [14, 15]. При этом важно отметить одну особенность взрывного разложения химических ВВ – оно протекает за счет окисления горючих элементов этого вещества (обычно углерода и водорода). В процессе химического превращения (детонации) рассматриваемого нами ВВ химические реакции в нем происходят между входящими в состав ВВ химическими элементами, а окисление его горючих элементов осуществляется без притока кислорода извне (из окружающей среды). Для этого в состав химического ВВ вводится вещество, содержащее избыточный кислород (например, аммиачная селитра, содержащая один избыточный атом кислорода), или же необходимый для осуществления взрыва (быстрого окисления горючих элементов ВВ) избыточный кислород содержится в многочисленных молекулах выбранной основы ВВ [1, 6].

Выдающемуся советскому ученому-химику, академику АН СССР Николаю Николаевичу Семенову (1896-1986 гг.) к 1932 году удалось разработать теорию цепных химических реакций [1, 16]. Применительно к экзотермическим процессам в химическом ВВ цепная химическая реакция означает ситуацию, при которой одно событие в ВВ вызывает совокупность других взаимосвязанных событий в этом веществе. Научные работы Н.Н. Семенова (рис. 4) в области химической физики "*Теория цепных реакций*" (1936 год) и "*Тепловая теория горения и взрыва*" (1940 год), отмеченные Госпремиями СССР за 1941 и 1949 годы, явились фундаментальным вкладом в кинетику термического распада химического ВВ. Данный пионерский вклад в теорию горения и взрыва вещества полу-

чил широкое международное научное признание, свидетельством чего явилось присуждение Н.Н. Семенову Нобелевской премии по химии за 1956 год [16].



Рис. 4. Выдающийся российский ученый химик-теоретик Н.Н. Семенов (1896-1986 гг.)

На взгляд автора, уместным здесь будет отметить, что существенное развитие гидродинамической теории детонации и теории горения в ВВ (в том числе в химических соединениях) нашло отражение в работах выдающихся советских ученых-физиков, академиков АН СССР Юлия Борисовича Харитона (1904-1996 гг.) и Якова Борисовича Зельдовича (1914-1987 гг.), прославившихся больше при разработке и создании в СССР ядерного и термоядерного оружия [1, 16]. Ю.Б. Харитоном (рис. 5) в теорию взрыва вещества был впервые введен критерий устойчивости детонации, имеющий важное значение как для цепных химических, так и цепных ядерных реакций [1, 16].



Рис. 5. Выдающийся российский ученый физик-теоретик Ю.Б. Харитон (1904-1996 гг.)

Указанный критерий Харитона гласил, что устойчивость детонации в ВВ определяется следующим критериальным условием [1, 16]: время протекания цепной химической реакции распада (разложения) в активной зоне ВВ должно быть меньше отношения диаметра заряда ВВ к скорости звука в горячих продуктах детонации вещества. Многие научные работы Я.Б. Зельдовича (рис. 6) были посвящены химической физике, теории горения, физике ударных волн и детонации ВВ. Им были созданы научные основы теории распространения пламени и кинетики химических реакций в нем. Он создал физические основы внутренней баллистики ракетных двигателей с пороховым

зарядом. Решил актуальную задачу поджигания взрывообразной смеси накаливаемой металлической поверхностью. Теоретически определил фронт распространения пламени в среде с ВВ. В теории детонации ВВ дал научное обоснование гипотезе Чепмена-Жуге. Впервые объяснил физико-химическое явление, определяющее предел процесса детонации в химическом ВВ. Я.Б. Зельдович решил важную для теории детонации химических ВВ физико-механическую задачу внешнего удара с большой скоростью по поверхности конденсированной среды с ВВ [16].



Рис. 6. Выдающийся российский ученый физик-теоретик Я.Б. Зельдович (1914-1987 гг.)

Известными в области взрыва вещества советскими учеными А.Ф. Беляевым и А.Я. Апиным в конце 20-го столетия были разработаны новые научные положения о роли высокотемпературной газовой фазы при высокоскоростном горении химических ВВ, а также сформулированы физико-химические основы струйного механизма процесса детонации при взрыве вещества [1, 6]. Суть этого механизма заключается в том, что импульсный процесс передачи энергии соседним (близлежащим) слоям ВВ, вовлекаемым в детонацию, осуществляется главным образом высокоскоростными струями разогретых газообразных продуктов взрыва, проникающих в межмолекулярные поры микрочастиц вещества и поджигающих таким путем эти микрочастицы ВВ. Дальнейшее углубление и расширение наших знаний о физике и химии взрыва в конденсированных (газообразных) средах с ВВ может открыть для военной и гражданской практики взрывного дела новые возможности импульсных высокоскоростных взрывных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вовк А.А. Укрощение взрыва. – Киев: Наукова думка, 1979. – 176 с.
2. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1974. – 312 с.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
4. Ткачук К.Н., Федоренко П.И. Взрывные работы в горно-рудной промышленности. – Киев: Вища школа, 1978. – 270 с.
5. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности // *Электротехника і електромеханіка*. – 2009. – № 1. – С. 42-54.
6. Покровский Г.И. Взрыв. – М.: Недра, 1967. – 254 с.
7. Лурье А.И. Электрическое взрывание зарядов. – М.: Недра, 1973. – 270 с.

8. Складенко В.М., Сядро В.В. Открытия и изобретения. – Харьков: Веста, 2009. – 144 с.
9. Климов А.А. Большая книга знаний. – Харьков: Веста, 2010. – 160 с.
10. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
11. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 1: Открытие периодического закона химических элементов // *Электротехніка і електромеханіка*. – 2011. – № 2. – С. 3-9.
12. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Книга 1: Теория электрофизических эффектов и задач. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2009. – 384 с.
13. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // *Приборы и техника эксперимента*. – 2008. – № 3. – С. 81-85.
14. Гуль Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
15. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2008. – 252 с.
16. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: Изд-во "Феникс", 2006. – 1176 с.

Bibliography (transliterated): 1. Vovk A.A. *Ukroshenie vzryva*. – Kiev: Naukova dumka, 1979. – 176 s. 2. Kudryavcev P.S. *Kurs istorii fiziki*. – M.: Prosveschenie, 1974. – 312 s. 3. Kuhlning H. *Spravochnik po fizike* / Per. s nem. – M.: Mir, 1982. – 520 s. 4. Tkachuk K.N., Fedorenko P.I. *Vzryvnye raboty v gorno-rudnoy promyshlennosti*. – Kiev: Vischa shkola, 1978. – 270 s. 5. Baranov M.I. *Progressivnye impul'snye tehnologii obrabotki materialov: istoriya, fizicheskie osnovy i tehnicheckie vozmozhnosti* // *Elektrotehnika i elektromehaniika*. – 2009. – № 1. – S. 42-54. 6. Pokrovskij G.I. *Vzryv*. – M.: Nedra, 1967. – 254 s. 7. Lur'e A.I. *Elektricheskoe vzryvanie zaryadov*. – M.: Nedra, 1973. – 270 s. 8. Sklyarenko V.M., Syadro V.V. *Otkrytiya i izobreteniya*. – Har'kov: Vesta, 2009. – 144 s. 9. Klimov A.A. *Bol'shaya kniga znaniy*. – Har'kov: Vesta, 2010. – 160 s. 10. *Bol'shoj illyustrirovannyj slovar' inostrannyh slov*. – M.: Russkie slovari, 2004. – 957 s. 11. Baranov M.I. *Antologiya vydayushchihsiya dostizhenij v nauke i tehnike. Chast' 1: Otkrytie periodicheskogo zakona himicheskikh `elementov* // *Elektrotehnika i elektromehaniika*. – 2011. – № 2. – S. 3-9. 12. Baranov M.I. *Izbrannyye voprosy `elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 2, Kniga 1: Teoriya `elektrofizicheskikh `effektov i zadach*. – Har'kov: Izd-vo NTU "HPI", 2009. – 384 s. 13. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. *Generator toka iskusstvennoj molnii dlya naturnykh ispytaniy tehnicheckikh ob`ektov* // *Pribory i tehnika `eksperimenta*. – 2008. – № 3. – S. 81-85. 14. Guly G.A. *Nauchnye osnovy razryadno-impul'snyh tehnologij*. – Kiev: Naukova dumka, 1990. – 208 s. 15. Baranov M.I. *Izbrannyye voprosy `elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 1: `Elektrofizika i vydayushchiesya fiziki mira*. – Har'kov: Izd-vo NTU "HPI", 2008. – 252 s. 16. Hramov Yu.A. *Istoriya fiziki*. – Kiev: Izd-vo "Feniks", 2006. – 1176 s.

Поступила 14.01.2011

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.
НИПКИ "Молния"
Национального технического университета
"Харьковский политехнический институт"
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47
тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Baranov M.I.

An anthology of outstanding achievements in science and technology. Part 4: Invention of chemical explosives.

A brief outline from the global history of invention of chemical explosives widely applied to solving military-engineering and national-economy tasks is given.

Key words – history, invention of chemical explosives.