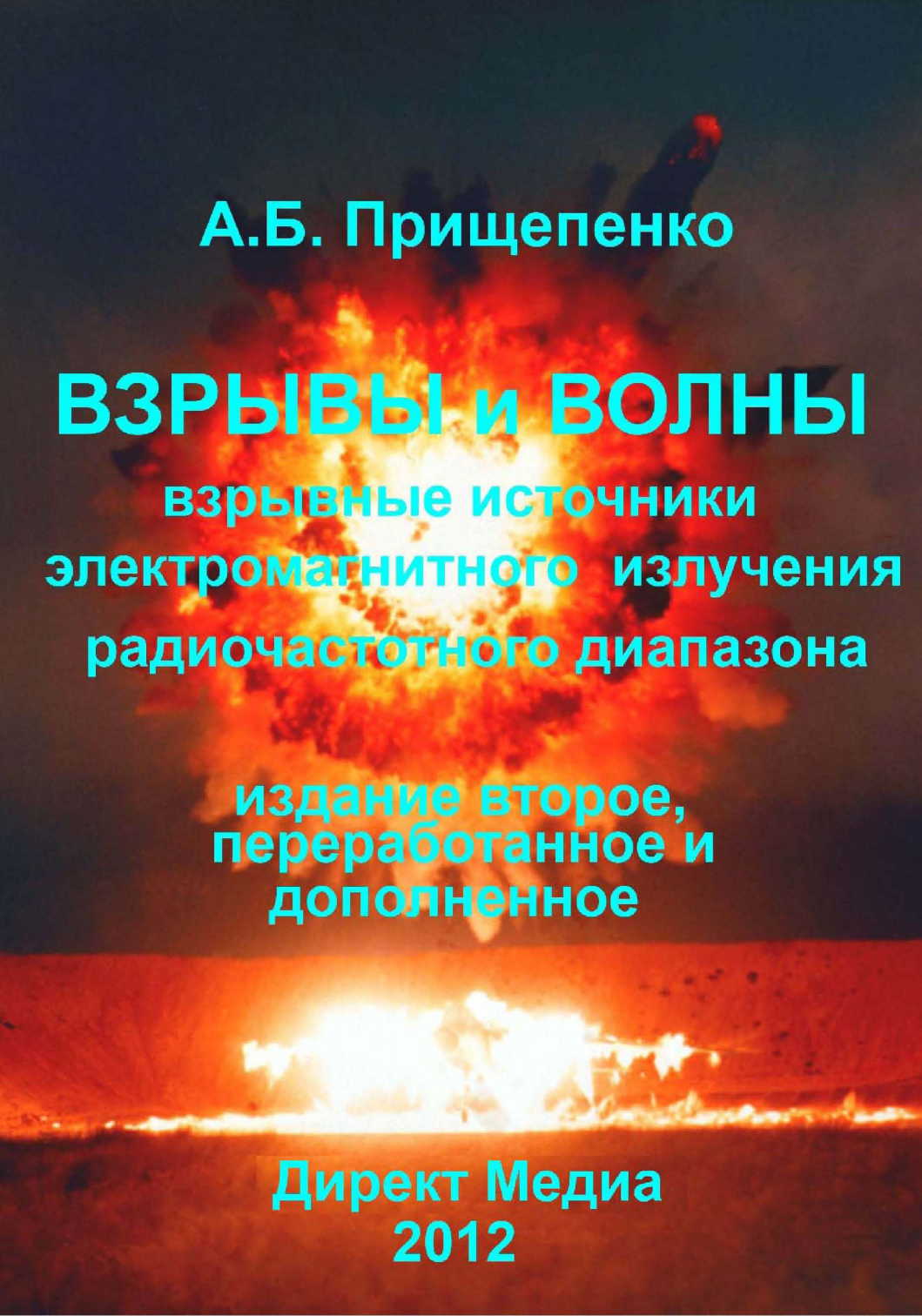




А.Б. Прищепенко

ВЗРЫВЫ и ВОЛНЫ

**взрывные источники
электромагнитного излучения
радиочастотного диапазона**

**издание второе,
переработанное и
дополненное**

**Директ Медиа
2012**

Прищепенко А.Б.

Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. Издание второе (электронное), переработанное и дополненное/ А.Б. Прищепенко. — М.: Директ-Медиа, 2012. 293 стр. цвет. илл.

ISBN 978-5-9903456-8-3

Учебное издание

Прищепенко Александр Борисович

Взрывы и волны. Взрывные источники электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. Издание второе (электронное), переработанное и дополненное

В пособии изложены теоретические и экспериментальные основы преобразования химической энергии, содержащейся во взрывчатых веществах, в электромагнитную. Рассмотрены основные идеи нового класса взрывных источников мощного радиочастотного электромагнитного излучения, эффекты поражающего воздействия этого излучения на цели, а также основы тактического применения электромагнитных боеприпасов. Книга написана живым языком, богато иллюстрирована. Во втором (электронном) издании переработан текст, существенно расширен иллюстративный ряд.

Для студентов и слушателей военных академий, обучающихся по специальности «Средства поражения и боеприпасы», а также для широкого круга читателей, интересующихся современными разработками в области военной техники.

Первое издание — БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008 г.
Второе (электронное) издание Директ-Медиа, 2012 г.

© Прищепенко А.Б., 2012 г.

ISBN 978-5-9903456-8-3

Содержание

1. Предисловие.....	8
2. Предшественники.....	9
2.1. Превращения магнитного потока и его «забота» о самосохранении.....	9
2.2. О волнах (пока что — ударных) и взрывчатых веществах.....	15
2.3. Взрывомагнитные генераторы.....	32
2.4. Как изготовить и испытать ВМГ?.....	51
2.5. Литература.....	73
3. Магнитный поток в тисках сверхпроводника: немедленно освободить!.....	75
3.1. Теория братьев Лондонов.....	78
3.2. Что же происходит в источнике?.....	86
3.3. Очень сложные измерения широкополосного РЧЭМИ и производимых им эффектов.....	90
3.4. Литература.....	96
4. Взрывные генераторы частоты: игра на быстрых гармониках.....	98
4.1. Математическая модель взрывомагнитного генератора частоты [4.1].....	101
4.1.1. Асимптотические оценки.....	105
4.1.2. Точные решения уравнений, описывающие режим работы ВМГЧ, при наличии только диффузионных потерь.....	109
4.1.2.1. Случай экспоненциального закона изменения индуктивности по длине.....	109
4.1.2.2. Случай линейного закона изменения индуктивности по длине.....	113
4.1.3. Точные решения уравнений, описывающие режим работы ВМГЧ	

при наличии как диффузионных потерь, так и потерь на излучение	116
4.1.3.1. Решения для тока, напряжения и потока (хорошо сформулировал, в рифму!).....	116
4.1.3.2. Расчет излучательных потерь	119
4.1.4. Еще раз об идеях, положенных в основу расчета и о том, как получить данные, необходимые для него	125
4.2. «Расчетам цена — сам знаешь, какая, а чем ты докажешь, что он у тебя вообще излучает?»	126
4.3. «Да, вроде что-то и есть, но — не то!»	130
4.3.1. О влиянии длительности импульсов РЧЭМИ на производимые при облучении полупроводниковых приборов эффекты	131
4.4. Витковый генератор частоты — более «жесткий» брат взрывоманитного генератора частоты [4.31]	133
4.4.1. Основы расчета ВГЧ	135
4.5. Ну, на полигоне излучатель можно запитать и от внешнего источника, а вот откуда возьмется энергия в боеприпасе?	137
4.6. Литература	143
5. Излучающая ударная волна: схождение до последнего микрона	148
5.1. Выбросить большую часть магнитного поля из области сжатия, чтобы оставшееся менялось быстрее, чем в ВМГ!	152
5.2. Важное и удачное решение: выбор рабочего тела	155
5.3. Сладость успеха, обернувшаяся горечью неудач	159
5.4. Охота за данными для расчетов	167
5.5. Расчеты проведены. Наконец-то можно не тыкаться, как слепым кутятам!	168
5.5.1. Постановка задачи	168
5.5.2. Физические свойства монокристалла йодида цезия	175
5.5.3. Численная реализация модели	179
5.5.3.1. О методе отдельных прогонок для разностных схем магнитной гидродинамики	181

5.5.4. Анализ результатов расчетов	183
5.5.4.1. Безразмерные параметры сжатия магнитного поля. Качественное описание их влияния на динамику процесса	183
5.5.4.2. Сжатие магнитного поля в монокристалле при различных начальных условиях	186
5.5.4.3. Эмиссия РЧЭМИ и ее спектральное распределение	192
5.6. Для запитки ЦУВИ требуется энергия не с десяток Джоулей, как для виткового генератора частоты, а на два порядка большая! Ее обеспечит связка ферромагнитного генератора и спирального ВМГ	196
5.6.1. Ферромагнитный генератор — более мощный, чем пьезоэлектрический, источник автономного питания	196
5.6.2. Нестабильность характеристик ФМГ и ВМГ сгубила «военную карьеру» ЦУВИ	200
5.7. Для источника РЧЭМИ со сферически-симметричным сжатием поля не нужны капризные и сложные генераторы начального тока!	201
5.8. Но не выбрасывать же систему энергообеспечения ЦУВИ, созданную с таким трудом! Импульсный магнитный генератор частоты	208
5.9. Литература	215
6. Выбить взрывом и превратить в РЧЭМИ все до последнего джоуля из ферромагнетиков и пьезоэлектриков!	219
6.1. Двустольный гранатомет для поражения танков с активной защитой	219
6.2. И ток и излучение — все из пьезоэлектрика [6.1]!	221
6.3. Ослепили и обидели	228
6.4. Эффекты облучения РЧЭМИ: не надо излишеств!	230
6.5. Литература	236
7. Электромагнитные боеприпасы	238
7.1. Особенности РЧЭМИ как поражающего фактора	239
7.2. Об источниках «невзрывного» класса, в которых узкополосное РЧЭМИ генерируется при ускоренном движении электронов в вакууме	244

7.3. Фундаментальное ограничение боевых возможностей электромагнитного оружия — пробой воздуха. Влияние его на применение источников РЧЭМИ различных классов неодинаково	247
7.4. Так как же поражать электронику противника: «рассеивая» РЧЭМИ по всем направлениям или «собирая» его в узкий луч?	252
7.5. Боевое применение электромагнитного оружия: были и небыли	262
7.6. Противодействие «электромагнитному» терроризму	269
7.7. Литература	272
8. Об авторе и его книгах	275

2. Предшественники

2.1. Превращения магнитного потока и его «забота» о самосохранении

Объяснить, как химическую энергию трансформируют в электромагнитную, невозможно, обойдя вниманием важнейшую физическую величину — магнитный поток, потому что именно ее «поведение» позволяет понять многое в этом процессе. Чтобы избежать мучений, связанных с тщательным подбором слов, воспользуемся плодами усилий автора книги [2.1]: «Магнитным потоком Φ через данную поверхность называется число линий вектора $\mathbf{B}$ (индукции магнитного поля), пересекающих эту поверхность. Если вектор $\mathbf{B}$ всюду нормален к поверхности (площадью S) и имеет постоянное значение во всех ее точках, магнитный поток равен $\Phi = BS$ ». Это определение вполне эквивалентно другому: если в контуре индуктивностью L течет ток I , то магнитный поток в таком контуре равен $\Phi = LI$.

Допустимо, рассматривая магнитный поток в контуре, «преобразовывать» контур, «завивая» его в несколько витков, тогда поток в нем будет равен тройному произведению: индукции поля на площадь витка и на число витков; можно поступить и наоборот, «развернув» витки (рис . 2.1).

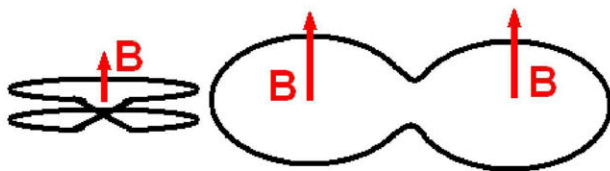


Рис. 2.1

Равенство значений магнитного потока в контуре, состоящем из пары витков и в том же, но «развернутом» контуре. В первом случае магнитный поток равен тройному произведению: индукции магнитного поля на площадь витка и на число витков; во втором — той же индукции на общую площадь контура, равной удвоенной площади одного витка

Но главное: будучи однажды создан в каком-либо контуре, магнитный поток «изо всех сил» сопротивляется попыткам изменить себя, отвечая на них генерацией электродвижущей силы (ЭДС), препятствующей этому¹. Например, если сжать контур, в котором создан магнитный поток, то возникнет ЭДС и, в соответствии с приведенными формулами, возрастет ток, компенсируя уменьшение площади. Если же попытаться «разорвать» контур и «выпустить» поток, он отреагирует на это, опять же — генерируя ЭДС, чтобы пробой замкнул разрыв.

Несмотря на «заботу» потока о самосохранении, полностью ему удастся достичь этого лишь в контуре из сверхпроводника. В контуре же из обычных металлов магнитное поле проникает в проводник, там оно связано и уже не участвует в процессе преобразования энергии: ему суждено превратиться в тепло, нагреть металл вихревыми токами.

¹ Так автор попытался сформулировать закон электромагнитной индукции, известный из школьного курса физики.

ми. Глубину проникновения поля в проводник называют скин-слоем, и зависит она, помимо проводимости, от частоты тока или от длительности импульса переменного во времени поля. Распределение индукции поля по толщине скин-слоя неравномерно (описывается уравнением диффузии).

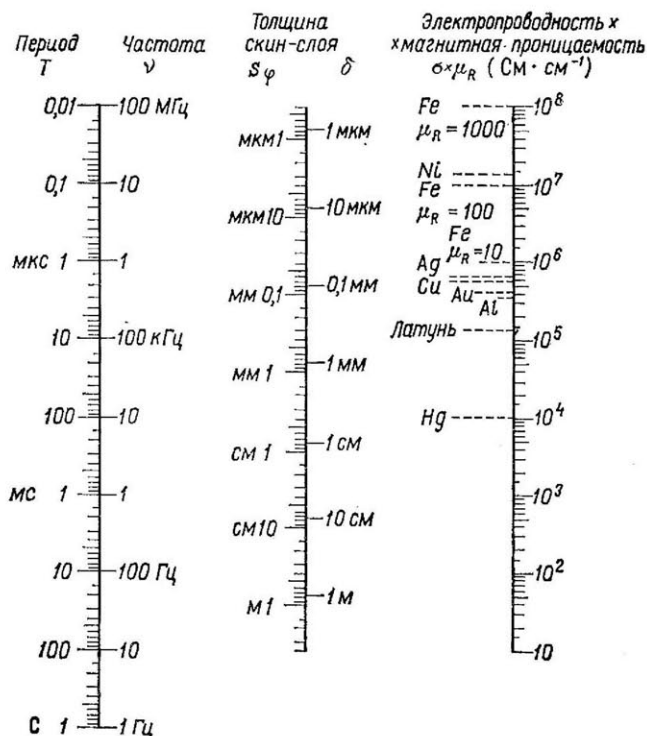


Рис. 2.2

Номограмма [2.2], связывающая «классическую» толщину скин-слоя δ , толщину скин-слоя для первой четверти периода магнитного поля, меняющегося по закону синуса S_ϕ , период T и частоту ν изменения поля

В вакууме магнитное поле распространяется со скоростью света, а в проводниках — значительно медленнее: за микросекунду оно проникает, например, в медь на глубину в десятки микрон (характерная скорость — всего лишь десятки метров в секунду). Чтобы избежать нудных выкладок (тем более, их все равно придется заимствовать), лучше привести номограмму толщин скин-слоя для различных частот и длительностей ([2.2], рис. 2.2).

Из рис. 2.1 ясно, что при прочих равных условиях потери на вихревые токи тем выше, чем на большей длине провода (или числе витков) происходит диффузия поля. Так что если задумано для усиления тока и магнитной энергии сжать проводящей оболочкой созданное в ней поле (рис. 2.3), то делать это надо быстро, чтобы существенная часть потока сохранилась свободной: чем она больше, тем выше «качество» процесса сжатия.

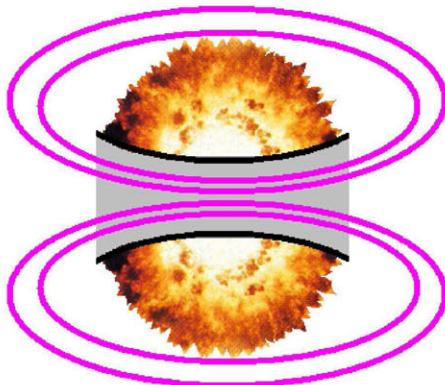


Рис. 2.3

Предложенный А. Сахаровым и М. Фаулером метод компрессии магнитного поля проводящей оболочкой, сжимаемой к своей оси имплозией (взрывом, направленным внутрь)

Из определения потока следует, что, если сжатие быстротечно и поток не успевает «уйти» в проводник, то индукция магнитного поля внутри оболочки «вынуждена» возрастать, компенсируя убывание площади сечения:

$$\mathbf{B}=\mathbf{B}_0(\mathbf{S}_0/\mathbf{S})_{\lambda} \quad (2.1)$$

Ток $\mathbf{I}$ и магнитная энергия $\mathbf{E}$ также усиливаются: $\mathbf{I}=\mathbf{I}_0(\mathbf{L}_0/\mathbf{L})_{\lambda}=\mathbf{I}_0(\mathbf{S}_0/\mathbf{S})_{\lambda}$ и $\mathbf{E}=\mathbf{E}_0(\mathbf{L}_0/\mathbf{L})_{\lambda}^2=\mathbf{E}_0(\mathbf{S}_0/\mathbf{S})_{\lambda}^2$, (где подстрочные «нулевые» символы относятся к начальным значениям, а λ — доля потока, оставшегося свободным, не связанным в металле (коэффициент сохранения)).

Ну, допустим, быстро сжав оболочку, мы электромагнитную энергию усилили. Но использовать эту энергию нужно, никак не мешкая, потому что плохо обстоит дело с ее хранением: например, в заряженном высоковольтном конденсаторе ее плотность — десятая доля Джоуля на каждый кубический сантиметр объема и хранится она недолго; в аккумуляторе или в ионистере (конденсаторе сверхбольшой емкости) плотность энергии повыше, но ее нельзя извлечь быстро — за миллионные доли секунды.

Чтобы сделать оценку «плохо» объективной, следует привести пример и «хороших» хранилищ энергии, это — взрывчатые вещества (ВВ). В них плотность химической энергии (до 10^4 Дж/см³) — на пять порядков выше, чем в конденсаторе, а при взрыве эта энергия преобразуется в тепловую и кинетическую, причем очень быстро: реализуются колоссальные мощности, иногда на порядки превышающие тераватты.

Энергия в ВВ «хранится» довольно надежно. Техническими условиями гарантируется стабильность их характеристик в течении немногим бо-

лее десятилетия, но на самом деле, взрывчатые свойства сохраняются значительно дольше. Однажды в Севастополе автор набрел на ядро времен Крымской войны (рис. 2.4).

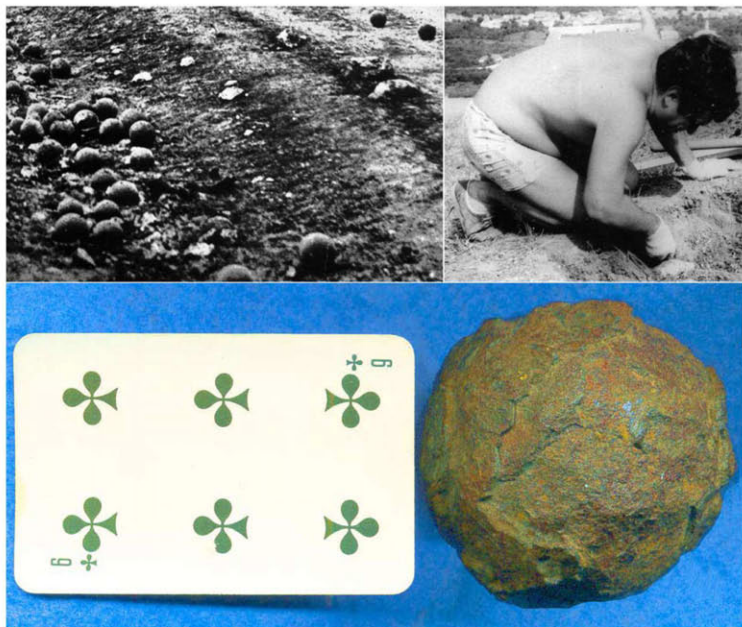


Рис. 2.4

Слева сверху: фрагмент дагерротипа времен Крымской войны, сделанного после неудачного для русских войск сражения при Инкермане и патетически названного его автором «Долина смерти и теней». Изобретенная французом Л. Дагером в 1839 г., техника получения изображений основывалась на разложении нестойкого йодистого серебра светом. Процесс получения дагерротипа трудоемок, зато до наших дней дошли объективные свидетельства Севастопольской обороны, а также — частых отказов боеприпасов того времени. На нижнем снимке - ядро времен Крымской войны 1855 г., найденное автором в Севастополе. Справа сверху - обезвреживание в августе 1997 г. минометной мины, произведенной в 1939 г. Дилетантам ни в коем случае не следует «оприходовать» и даже трогать подобную находку, потому что ее взрыватель был взведен при выстреле и неизвестно, какая малость помешала ему сработать многими десятилетиями ранее. Такие предметы следует уничтожать подрывом

Корпус ядра корродировал, но не насквозь, а медная втулка с запальной трубкой смялась при ударе (возможно — о камень) и намертво закупирила «сосуд». После осторожного удаления ее, автор, к своему удивлению, обнаружил внутри ядра сохранившийся черный порох. За почти полтора столетия он, конечно, слежался, но отколупываемые кусочки, после минимального просушивания, энергично «пыхали» с белыми облачками дыма. Если бы запальная трубка сработала как надо, а не так, как часто бывало в те времена, ядро могло причинить неприятности защитникам севастопольских бастийоннов)! Правда, черный порох — не «настоящее» ВВ, но на итальянском пороховом заводе под Миланом уже более века в стеклянной ампуле с длинным «змеевиком» хранится без признаков разложения образец нитроглицерина, полученный еще его открывателем, А. Соберо. Даже снаряжение пролежавших более чем полвека в земле боеприпасов демонстрирует образцовое дробление корпуса.

2.2. О волнах (пока что — ударных) и взрывчатых веществах

Рассмотрим движение поршня в цилиндре с газом ([2.3], рис. 2.5).

Если поршень начал медленно двигаться, он сформирует возмущение: чуть-чуть подожмет и придаст импульс газу впереди себя. В этой слабой волне скорость фронта равна скорости звука, а массе сжатого в ней газа будет придана скорость поршня. Отметим, что в сжатом газе скорость звука больше, чем в несжатом, и, поскольку дальнейшие возмущения пойдут именно по такому газу, они будут иметь большую скорость. Кроме того, сам сжатый газ движется со скоростью поршня и, следовательно, относительно цилиндра скорость второй волны равна

сумме скоростей: поршня и увеличенной — звука. Эта сумма и подавно превосходит скорость первого возмущения, поэтому вторая волна сжатия непременно догонит первую и усилит ее. Но перегнать ее она не сможет, так как для этого ей пришлось бы перейти в несжатый газ, где скорость распространения возмущения опять равна начальной скорости звука. Таким образом, поршень погонит удаляющуюся от него волну сжатия увеличивающейся амплитуды, которая образуется в результате слияния отдельных слабых возмущений. Со временем, количество перейдет в качество: на фронте волны образуется резкий скачок уплотнения, в котором будет расти давление — до произвольно больших значений, в зависимости от скорости поршня. Такое резкое, происходящее на расстоянии порядка длины свободного пробега молекул изменение параметров вещества — и называется ударной волной (УВ).

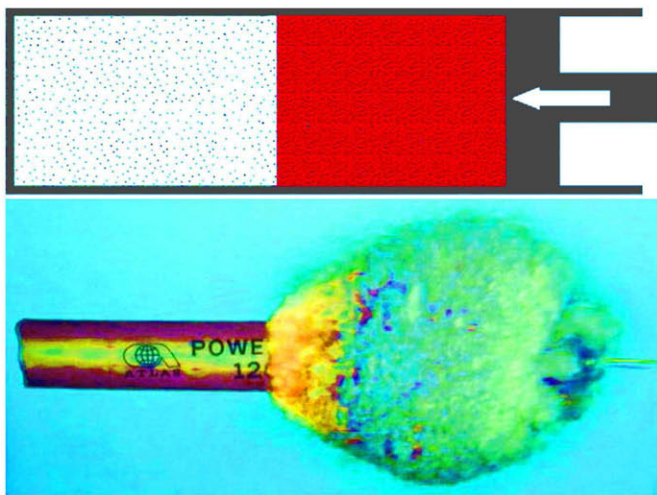


Рис. 2.5

Вверху: образование ударной волны поршнем,двигаемым в цилиндр с газом (в «красной» области — ударно-сжатый, нагретый и более плотный газ). Внизу: ударно-волновой процесс в конден-

сированном веществе. Срабатывание электродетонатора (его провода видны в правой части снимка) привело к формированию в заряде динамита ударной волны, за которой последовала химическая реакция (произошла детонация этого мощного взрывчатого состава)

В сформировавшейся УВ все параметры связаны взаимно-однозначным соответствием. Иными словами: для идентичных начальных условий невозможно сформировать волны, например — с одинаковыми скоростями, но разными давлениями во фронте или температурами. Это обстоятельство существенно упрощает многие эксперименты: достаточно измерить, например скорость УВ — и остальные ее параметры можно определить по таблицам. Правда, подобное справедливо лишь для однократного ударного сжатия вещества. Если же оно сжимается последовательностью волн — тут возможны варианты.

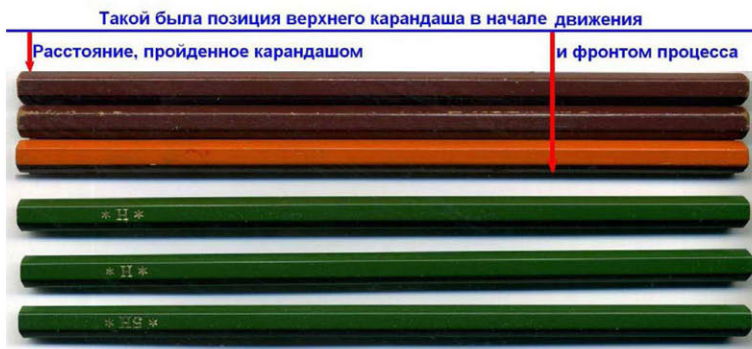


Рис. 2.6

«Карандашная» иллюстрация сжатия вещества в УВ. Моделируется «воздушный» врыв и УВ распространяется сверху вниз. Пусть сжатие — двукратное, тогда в невозмущенном веществе зазоры должны быть равны толщине карандашей (так расположены карандаши зеленого цвета, имитирующие невозмущенное вещество). Начнем двигать верхний карандаш. Выбрав зазор, этот карандаш толкнет соседний, тот, пройдя зазор, — следующий и т.д. «Ударное сжатие» привело к смещению ка-

рандашей, захваченных процессом, «повышению плотности вещества». При этом «фронт» процесса (граница области, где находятся карандаши без зазоров между ними) всегда опередит любой из двигающихся карандашей. Чем больше сжатие (больше расстояние между карандашами), тем меньше различаются массовая скорость и скорость фронта, но отличие существует всегда. Цветами карандашей автор попытался проиллюстрировать и температурный профиль волны

УВ не только сжимает, она также и нагревает вещество, из-за чего плотность сжатого вещества не становится сколь угодно большой при неограниченном росте давления, а стремится к конечному пределу (воздух, например, сжимается не более чем в 6 раз). Предел ударного сжатия существует и для конденсированных веществ, а, поскольку сжатие конечно, массовая скорость вещества (скорость поршня) всегда меньше скорости фронта (рис. 2.6).

Исторически сложилось так, что термин «волны» используется для обозначения многих явлений, в природе которых общего мало. Движение вещества при взрывных процессах подчиняется уравнениям гидродинамики, названию которых тоже не всегда соответствует область их применения: ими описываются не только движения жидкости (откуда и «гидро»), они применяются для решения очень многих задач. Возможно, одной из причин внедрения «волновой» лексики послужило то, что, например, процессы отражения УВ имеют сходство с волновыми (рис. 2.7).



Рис. 2.7

Отражение ударной волны от преграды с большим ударно — волновым импедансом, чем у вещества в волне (отразилась волна сжатия, от преграды с меньшим импедансом отошла бы разреженная волна). В усилившейся отраженной волне возрастает не только давление, но и плотность вещества может превысить максимально достижимую при однократном ударном сжатии

Натолкнувшись на преграду, УВ может «отразиться» либо приобрести дополнительное сжатие, либо испытав разрежение вещества (вроде как с «потерей фазы»).

Критерием того, по какому сценарию это произойдет, является ударно-волновой импеданс — произведение плотности вещества на скорость звука в нем, но в любом случае веществу преграды будет передан импульс и оно начнет двигаться по направлению распространения УВ.

...Рассматривая ударное сжатие вещества, мы полагали, что оно инертно, но есть и такие субстанции, распад метастабильных² молекул которых происходит с выделением энергии. Достаточно мощная УВ как раз и инициирует этот процесс: за ударным фронтом вещество нагревается и начинается химическая реакция. Вначале энергией этой реакции фронт «подпитывается», ускоряясь, затем устанавливается равновесие.

² То есть — устойчивых относительно, могущих распасться при незначительном внешнем воздействии, в данном случае — нагреве.

Такой процесс называется детонацией, а установившаяся скорость УВ и химической реакции за ее фронтом — скоростью детонации.

Кроме детонации с постоянной скоростью, возможны и нестационарные режимы. Сходящиеся детонационные волны (цилиндрические, сферические) ускоряются по мере уменьшения радиуса. На достаточно малых радиусах энергия химической реакции вообще перестает играть существенную роль, возрастание параметров сжатия определяется только геометрическим фактором. Кстати, именно в сферически-симметричном случае возможно достижение экстремальных состояний вещества, хотя часто от даже имеющих дипломы технических вузов приходится слышать, что для получения наибольшего давления следует организовать «лобовое» столкновение тел. Видимо, тут сказывается юношеский опыт игры в футбол, при которой лобовые столкновения происходят часто, а сферически-симметричные — никогда.

Понятно, что термодинамические характеристики вещества изменяются при протекании в нем реакции, но явление детонации вполне возможно описать в рамках теории УВ [2.4]: **скорость детонации относительно продуктов реакции равна местной скорости звука в продуктах реакции** (запомним это!).

УВ как явление, вызывающее детонацию упомянуто не случайно, именно таков основной механизм инициирования бризантных (дробящих) взрывчатых веществ (ВВ), таких как тринитротолуол или циклотриметилентринитрамин (гексоген). Назвали их дробящими потому, что плотность кинетической энергии газов образованных детонацией столь высока, что они дробят преграды на множество осколков и-metaют их с большой скоростью. Однако если небольшое количество бризантного ВВ

поджечь, то, не находясь в ограниченном объеме, оно спокойно горит. Это горение переходит в детонацию, если сопровождается повышением давления (как это было, например, в замкнутом сосуде — зарядном отделении торпеды на атомной подводной лодке «Курск», нагреваемом пламенем горящего двигателя другой торпеды). Но существуют и такие вещества, в которых горение и вне замкнутого объема быстро ускоряется за счет химической реакции, а переход в детонацию весьма быстротечен. Такие ВВ (фульминат ртути, азид свинца) называют иницирующими. В нужный момент в них возбуждают детонацию — огневим или ударным импульсом — а далее они возбуждают тот же процесс в бризантных ВВ.

В отличие от иницирующих, бризантные ВВ считаются (и *почти* справедливо) нечувствительными к механическим воздействиям: когда отказывают взрыватели³, как правило, взрывов не происходит в снарядах, ударившихся о броню (рис. 2.8) и отлетевших от нее, в бомбах, сброшенных летящим на околозвуковой скорости самолетом и расколовшихся при ударе об угол здания. Однако редчайшее стечение обстоятельств может привести и к совершенно иным последствиям.

³ Не только. Стрельба «на рикошетах» ведется на настильных траекториях и с установкой взрывателей на замедление. Отразившись (рикошетируя) от грунта, снаряд затем набирает высоту и разрывается в воздухе. Такая стрельба менее точна, зато поражение целей осколками более эффективно. Аналогично выполняется и низковысотное бомбометание — штурмовыми бомбами прочной конструкции.



Рис. 2.8

Экспонат военного музея в Вене: бронеколпак времен Первой мировой войны, снятый с австрийского оборонительного сооружения. Снаряд, попавший ближе к вершине, разорвался: об этом свидетельствуют радиальные «лучи», расходящиеся от вмятины. А вот в снаряде, вмятина от которого видна правее, вероятно, отказал взрыватель и ВВ не детонировало

Реакция в ВВ начинается в микроскопических очагах разогрева (горячих точках), например — в воздушных включениях. При ударном сжатии, температура в пузырьках воздуха в жидких ВВ или промежутках между кристаллами спрессованного ВВ выше, поскольку теплоемкость воздуха меньше, чем у окружающего их конденсированного ВВ. Возникают локальные перегревы и при течении, трении, переламывании или деформации (рис. 2.9).

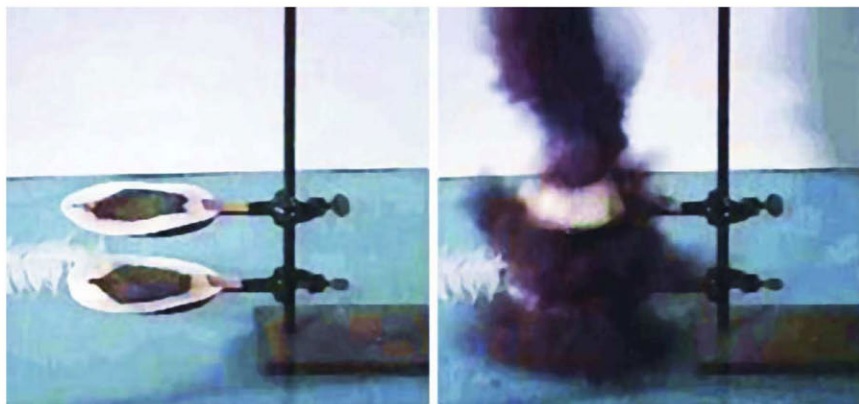


Рис. 2.9

Йодистый азот — одно из самых чувствительных взрывчатых веществ. Касание нижнего образца птичьим пером привело к появлению горячих точек при переламывании длинных и хрупких кристаллов ВВ и возникновению детонации. Расположенный выше образец йодистого азота отделен от взорвавшегося значительным воздушным промежутком, но детонацию вызвала сформированная в воздухе первым взрывом ударная волна. Промышленно синтезируемые ВВ, конечно, не так чувствительны, как йодистый азот: чтобы инициировать в них детонацию, давление в ударной волне должно превышать 20 тысяч атмосфер

...Если у читателя есть возможность получить щепотку охотничьего зерненого черного пороха — пусть попробует перетереть ее в фарфоровой ступке, перед тем защитив глаза очками. При перетирании будут слышны негромкие потрескивания, ощущаться легкий запах серы, а в сумерках — видны неяркие вспышки между ступкой и пестом. Это — «сигналы» от образовавшихся при дроблении зерен и трении небольших скоплений горячих точек. Реакции в очагах малых размеров затухают: теплоотвод превышает тепловыделение. Чтобы реакция стала самоподдерживающейся, должна случайно возникнуть

концентрация большего количества горячих точек вблизи друг от друга. Когда воздействие на ВВ мощное — в таких центрах зарождения реакции нет недостатка и детонация начинается гарантированно. А вот если воздействие слабое, то инициирование горения или детонации будет вероятностным.

В воспоминаниях В. Цукермана — участника создания советского ядерного оружия — описан случай, когда на испытательной площадке «ни с того, ни с сего» загорелся (а мог бы и сдетонировать!) большой шаровой заряд ВВ. Была сочинена скрыто-издевательская объяснительная записка: над зарядом, мол, пролетела и погадила птичка и та капелька послужила линзой, сконцентрировавшей солнечные лучи. На самом-то деле заряд просто неуважительно «тронули», но участники опыта предвидели, что сладчайшую возможность, грозно насупив брови, задать дурацкий вопрос: «Вы отдаете себе отчет о последствиях, если такое случилось бы с ядерным зарядом?!» руководящие товарищи не упустят — и направили грозу на «птичку». Все брызганты ВВ перед принятием на вооружение проходят испытания прострелом пуль и в огромном числе таких опытов не загораются и не детонируют, но вот, случается...

Участвовал и автор в работе комиссии, расследовавшей похожий случай. Охранявший склад часовой сумел отключить сигнализацию, демонтировал технологическую крышку на боевой части ракеты и штык-ножом наколупывал ВВ для дембельской «рыбалки». Что все было именно так — стало ясно, когда нашли осколок штык-ножа: на нем были следы течения стали, а такое могли сделать только сжатые до чудовищного давления газы близкой детонации...

Ясно, что если температура ВВ повышена, то и для создания очага реакции необходимо меньше горячих точек — чувствительность ВВ возрастет. Ну, а если понизить температуру ВВ? В 70-х годах был разработан метод разминирования, предусматривавший охлаждение взрывоопасного предмета жидким азотом. Охлажденное устройство можно было «разобрать», слегка постукивая по нему молотком (при таких температурах и металлы очень хрупки).

А при нормальной температуре можно ли понизить чувствительность ВВ? Для этого, например, надо удалить воздушные включения — области концентрации горячих точек. После прессования, под очень большим давлением и при высокой температуре, в присутствии небольшого количества растворителя, мощная взрывчатка — гексоген приобретает плотность, близкую к плотности монокристалла и становится полупрозрачной. Коллега автора выточил из такой шашки пепельницу и любил гасить в ней окурки — «агатированное» ВВ не воспламенялось при этом — сообщая посетителям, из чего пепельница сделана и наслаждаясь произведенным впечатлением. Автор отнеся к хвастовству «гусара» неодобительно.

Теперь — о веществах, в которых возможна детонация. Если разложение молекул вещества происходит с выделением энергии, то в нем возможна и детонация, но в промышленных масштабах синтезируются только несколько соединений, которые можно пересчитать по пальцам. Дело в том, что, в соответствии со вторым началом термодинамики, любая реакция с выделением энергии самопроизвольно протекает всегда и ВВ не могут не разлагаться.