

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БРОНЕПРОБИВАЕМОСТИ

Определение толщины пробиваемой преграды имеет большое значение при оценке боевой эффективности артиллерийских систем при стрельбе по бронированным объектам. Из вооружений и боевой техники наиболее распространенными случаями применения бронирования являются танки и корабли. При этом термин «пробивание» варьируется в разных работах от «достижения носиком снаряда задней поверхности плиты» и «образования сквозных трещин» — баллистический предел по терминологии принятой в армии США, до «прохождения через плиту», «прорыва плиты» или «пробивания плиты» — баллистический предел по терминологии флота США, хотя другие понятия также достаточно часто используются. Поэтому не всегда ясно, что имеют в виду некоторые авторы: ведь, например, снаряд может в процессе пробивания плиты разрушиться, но в то же время одна или несколько его частей могут ее пробить. Подобное различие связано с большей уязвимостью наземных бронированных объектов по сравнению с морскими. Ведь если на суше достаточно, чтобы отколовшиеся с внутренней стороны осколки брони вывели из строя внутреннее оборудование танка или личный состав, то для поражения корабля необходимо, чтобы снаряд целым прошел через преграду и разорвался как можно глубже в корпусе корабля.

Из наиболее доступных и известных работ в области бронепробиваемости морских орудий являются труды Н.Окуна [Окип], общепринятого эксперта по данному вопросу. Отечественные работы в этой области в основном закрытые, а в открытых источниках применяется лишь формула Якоба де Марра. Исключение составляет лишь работа В.П. Костенко, но и там приводится лишь пара альтернативных методик, сводя все рассуждения к той же формуле. Таким образом, как для специалистов, так и для любителей будет небезынтересным ознакомление с альтернативными формулами и методиками по расчету процесса пробивания брони.

Скорость движения снаряда в броне гораздо меньше скорости распространения волны упругой деформации (скорости звука в броне), а потому в первом приближении можно считать, что броня сопротивляется движению снаряда как единое целое. Ударное воздействие осуществляется за счет кинетической энергии снаряда, в момент удара имеющей значение $K=0,5mv^2$, где m — масса снаряда, v — его скорость в момент удара. В системе британских мер и весов, принятой в формулах Окуна, необходимо вместо m использовать отношение m/g (g — ускорение свободного падения, равное 32,17 фт/с²). В процессе движения снаряда его кинетическая энергия снижается вплоть до нуля, поэтому по значению K можно оценить максимальную толщину пробиваемой брони, которую способен пробить снаряд в момент удара.

Кинетическая энергия расходуется на совершение работы по движению снаряда в плите: $W=maL$, где L — пройденный снарядом путь в плите до его полной остановки; a — ускорение торможения. Если в уравнении подставить полную

толщину плиты T , это уравнение даст такую кинетическую энергию, которой должен обладать снаряд, чтобы ее пробить. С другой стороны, сила сопротивления движению снаряда в плите также будет пропорциональна толщине пробиваемой плиты, поэтому можно записать: $W = kT^2$, где k — коэффициент пропорциональности, или коэффициент качества брони.

Для преобразования полученного уравнения к безразмерному виду необходимо от значения пробиваемой брони перейти к безразмерному комплексу T/D , где D — калибр снаряда. И, наконец, для учета косоугольного удара необходимо умножить правую часть уравнения на $\cos \alpha$, где α — угол встречи снаряда с преградой.

Поэтому формулу бронепробиваемости для определения, например, необходимой скорости можно записать окончательно как:

$$v = KC \frac{T^t D^d}{M^m \cos^a \alpha},$$

где K — постоянная; C — коэффициент выделки плиты (меняющийся в зависимости от технологии и качества выделки); t , d , m и a — показатели степеней, которые будут отличать одну эмпирическую формулу от другой. Как видно, для идеального случая, эти коэффициенты равны: $t=1$; $d=0$; $m=0,5$; $a=1$. В формуле Якоба де Марра эти коэффициенты имеют следующие значения: $t=0,7$; $d=0,75$; $m=0,5$; $a=1$. В ряде формул C и \cos объединяются, чтобы определить качество брони при косоугольном ударе, из-за чего в таких формулах отсутствует угол.

Факторы, определяющие бронепробиваемость снаряда, изменяются довольно быстро при его движении в плите. Так, головная часть снаряда постепенно разрушается, а подрезы-локализаторы ограничивают распространение разрушения к камере снаряда. Поэтому реально в ударе участвует не масса M , а значительно меньшая. Этот эффект следует учесть показателем степени m меньшим 0,5 (в формуле де Марра $m=0,5$, что лишний раз свидетельствует о том, что она описывает идеальный случай).

Так, по формулам Н.Окуна для цементированной броневой плиты (типа компаунд, Гарвей или Крупп) показатель степени для массы m только 0,2, при том, что показатель степени для скорости 12,1 (в шесть раз больше, чем может дать уравнение кинетической энергии). Причина тут единственная: кинетическая энергия идет на деформацию самого снаряда: металл на кончике снаряда тормозится и теперь уже кинетическая энергия снаряда направлена не на пробитие плиты, а на проталкивание металла кончика. Если не учитывать сминание кончика, показатель степени у массы снаряда был бы около нуля и такие снаряды бы были минимальной массы — много меньше чем масса всех реальных снарядов.

Следующая сложность при использовании вышеприведенной формулы состоит в учете коэффициента пропорциональности K , стоящем в правой части. Если справедлива гипотеза о равенстве кинетической энергии и работы, то, как показано $K=0,5$.

Фактически же значения K лежат в интервале от 0,5 до 1,0. При $K=0,5$ механизм пробивания плиты заключается в следующем: плита состоит из множества

элементарных слоев и каждый слой сопротивляется по отдельности. Поэтому общая сила сопротивления определяется как сумма элементарных сил сопротивления каждого слоя. Картина отверстия от снаряда в этом случае будет иметь идеально круглую форму. С другой стороны, когда $K = 1,0$ характерным случаем пробивания будет случай, как для подкалиберного бронебойного снаряда. Пробивая броню, сердечник находится под всесторонним сжатием, из-за этого происходит «выдавливание» материала плиты с задней кромки, подобно выдавливанию пробки из бутылки. В этом случае с самого первого мгновения соударения в ударе участвует вся толщина плиты. Форма отверстия при этом будет сопровождаться характерными лепестками на внутренней поверхности плиты.

По поводу качества выделки плит в литературе, в том числе и популярной, существует множество рекомендаций, указанных в табл. 1. Но это все ориентировочные значения. Большую точность могут дать эмпирические формулы, определенные разными авторами в разное время.

Таблица 1

*Традиционный способ учета качества брони через эквивалентные
толщины (по разным источникам)*

Плиты	[Weyer]	[Eizaguirre]	[Хмара], [Сулига]	[Рожевский]	[Шершов]
крупшовская	100	100	100	100	100
гарвеевская	125	125	130	—	120
стальная	200	180	170	150-180	170
броня-компаунд			200	210	
железная	300	225	250	300	210-230

Формула Фаирбарна получена для пробивания железной брони чугуном ядром. Дает явно заниженные результаты по сравнению с пробиванием бронебойным снарядом.

В формуле Тресидера нарушается соотношение между кинетической энергией и пробиваемой брони (скорость в степени 1,5). Возможно, это несоответствие объясняется неточностями замера параметров или же низким качеством контроля состояния химического состава плиты.

Формула Круппа послужила базой для дальнейшего ее уточнения в других странах. Например, во Франции ее пересмотрел и уточнил Якоб де Марр. В его формуле обращает на себя внимание множитель ***Dd***, стоящий перед выражением кинетической энергии. Он означает, что снаряды большего диаметра пробивают данную броню с большим эффектом. Отчасти это, возможно, связано с большей целостностью снарядов крупного калибра (мелкокалиберный снаряд проще сломать), но, возможно, все гораздо проще: качество плиты с увеличением толщины ухудшается.

Все три формулы имеют сходный характер.

Поскольку в конце XIX — начале XX вв. производство броневых плит малой толщины сопровождалось непреодолимыми технологическими трудностями, на их изготовление шла обычная конструкционная сталь, по терминологии того времени «броня Сименс-Мартин» (мартеновская сталь) [Митюков, 2007]. Для оценки пробиваемости тонкостенных конструкций рекомендуется формула Брайнарда [*Brainard*], годная для конструкционной стали.

Что касается гарвеезированной брони, то она представляла собой сверхтвер-

дый слой (толщиной до одного дюйма), положенный на мягкую стальную подложку. При цементировании поверхностного слоя, вероятно, возникали технологические сложности, так что наилучшим сопротивлением обладали лишь толстые плиты.

Надо сказать, что применение поверхностного упрочнения меняет механику пробивания плиты: при ударе о твердую поверхность, как правило, происходит потеря снарядом головной части и его распадение на несколько фрагментов. При дальнейшем движении вязкая подложка улавливает осколки снаряда и своего сверхтвердого слоя. Из-за этого результаты испытаний обычно сильно отличались друг от друга.

Если Гарвей применил цементацию поверхностного слоя с мягкой подложкой, то Крупп предложил совместить ее с обработкой давлением и более глубоким легированием, из-за чего качество плиты перестало зависеть от ее толщины.

На рис. 1 представлены кривые бронепробиваемости при стрельбе 305-мм орудием линкора «Полтава». Как видно, сорта стальной брони располагаются достаточно кучно. Расхождение между результатами достигает не более 10 %, что отчасти можно объяснить уровнем технологии и культуры производства: лучшая броня у англичан, потом у германцев, французская самая плохая. Эти рассужде-

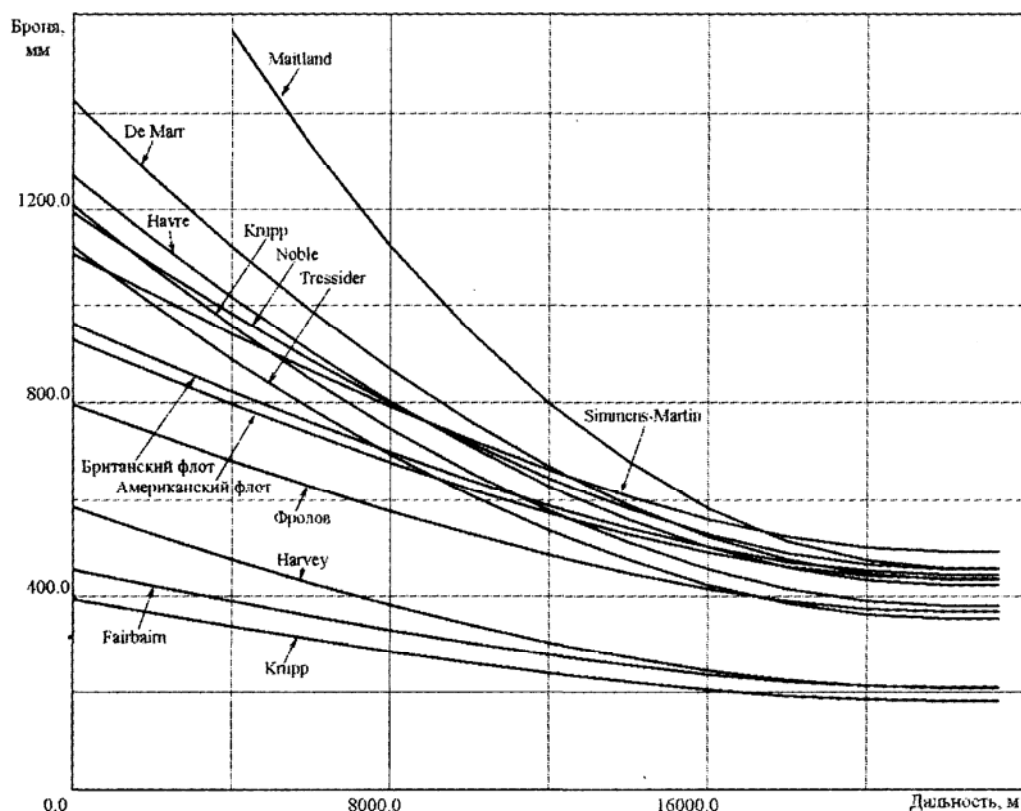


Рис. 1. Бронепробиваемость различных сортов брони главным калибром линкора «Полтава»

ния находят свое подтверждение и в литературе, когда, например, третьи страны предпочитали заказывать броненосцы именно в Англии.

Применение гарвеевской брони дает увеличение эффективности примерно на 70-100 %, что подтверждается данными табл. 1. Применение крупновской брони дает еще примерно 25 % увеличения эффективности, что снова подтверждается табл. 1.

В период после Первой мировой войны броневой материал претерпел суще-

ственные изменения. Если до того все страны производили более или менее одинаковые плиты, то теперь появилась возможность варьирования характеристик бронирования в зависимости от национальных доктрин и типовых боевых задач. Так, сопротивляемость 203-мм снаряду германской брони типа *Wh* (*Wotan harte*) и американской типа *STS* были примерно одинаковы. Но 380-мм снаряд пробивал *Wh* на 10 % более толстую, зато 20-мм — примерно на 20 % более толстую *STS* (наверно имелось ввиду 203-мм, но так в тексте — К.М.). Все это привело к тому, что в это время прижились универсальные формулы, способные прогнозировать свойства широкой номенклатуры броневых материалов.

В формуле де Марра для никелированной стали диапазон углов косоугольного удара ограничивается 30° . Коэффициент *C* — это коэффициент качества выделки. Так, для гарвеезированной брони он имеет значение примерно 1,2...1,25. Поскольку отечественные работы в области бронепробиваемости были в основном закрытые, открытые источники, как правило, не акцентируя внимания на других методиках, применяли лишь формулу Якоба де Марра. Между тем она работает лишь для случая гомогенной мягкой брони, но совершенно неудовлетворительна для слишком тонкой или толстой брони.

Универсальная формула Круппа имеет вид, аналогичный формуле для пробивания гарвеезированной брони снарядом с колпачком. Поправка заключается лишь введением коэффициента качества выделки *C*. Значение этого коэффициента изменяется от 525 для обычной конструкционной стали, пробиваемой снарядом с колпачком, 655...694 — для бронебойных снарядов с колпачком, пробивающих так называемую сталь *Wh* — «укрепленную сталь Вотан», фактически гомогенную броню, и достигает максимума 804 при пробивании бронебойным снарядом без колпачка новейших броневых плит крупшовской выделки.

Универсальная формула Томпсона имела первоначально коэффициент *C*, включавший в себя и косоугольный удар, но впоследствии, чтобы снизить диапазоны его колебания, угол встречи был вынесен в качестве дополнительного множителя. Используемые в настоящее время в США методики для расчета бронепробиваемости основаны именно на формуле Томпсона и даже, когда в 1950-х годах на флоте прекратились эксперименты с броней и все документы были переданы армии, эта формула также сохранила актуальность.

На рис. 2 показаны сравнительные результаты расчета бронепробиваемости для 254-мм морского орудия с длиной ствола 45 калибров. Стрельбы проводились в 1910-х гг. и опубликованы в работе Титушкина. Коэффициент качества брони для каждой из формул определялся по начальным условиям (скорость на срезе ствола, угол падения нулевой). Как видно из рисунка, наилучшее схождение дает формула де Марра. Формула Круппа дает завышенные результаты, формула Томпсона — заниженные. Подобная картина наблюдается и при расчете бронепробиваемости 305-мм, 203-мм и 152-мм орудий, взятых из той же работы. Поэтому следует признать, что либо при проведении тестов реальные броневые плиты (как это уверяется в работе Титушкина) не пробивались, а определялась их толщина по формуле де Марра, либо формула действительно наиболее целесообразна к применению для моделирования морских сражений конца XIX — начала XX вв.

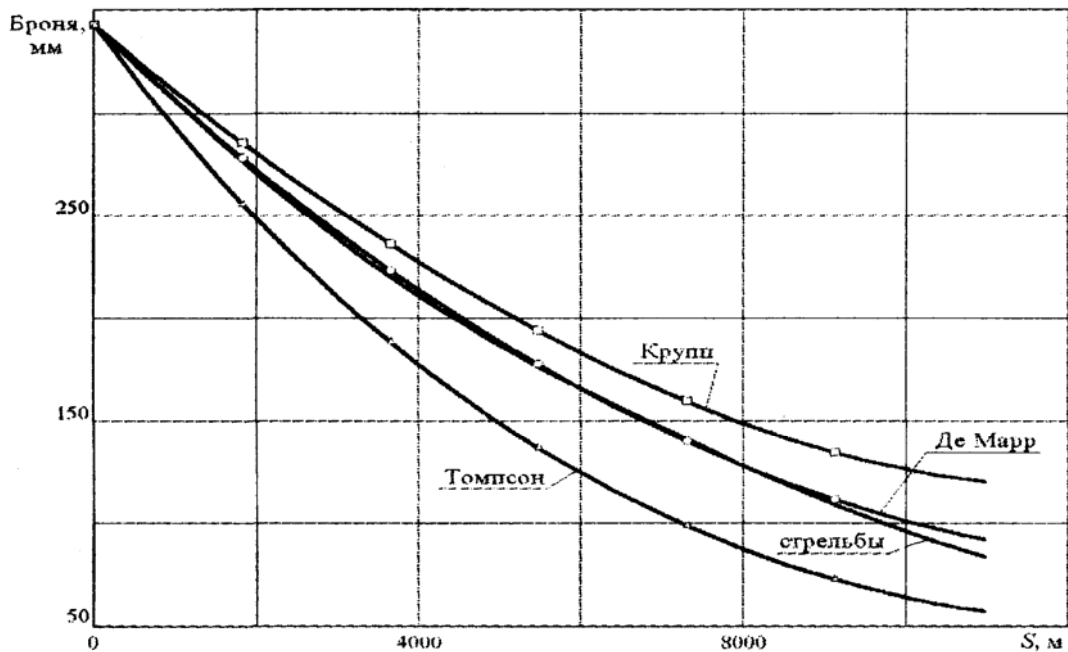


Рис. 2. Расчет пробиваемости крупновесной брони для 254-мм морского орудия по универсальным формулам и сравнение с результатами стрельб

Литература

- См.: Brainard F.R. Blindaje Moderno // Revista General de la Marina. — 1891. — № 29. — Julio. — P. 47-62.
- См.: Okun N. Major Historical Naval Armor Penetration Formulae. Режим доступа: [<http://www.warships1.com>].
- См.: Weyer V. Taschenbuch der Kriegsflootten. 1916. — Munchen: J.F. Lehmanns Verlag, 1916. — 568 s.
- См.: Агокас Е.В. Боевые средства авиации — М.: МАИ, 1934. — С.147.
- Костенко В.П. Броневая защита боевых кораблей. — Л.: ЦНИИ им. Крылова, 1948. — С.288.
- Митюков Н.В. Моделирование морских сражений // Морской сборник. — 2002. — № 9. — С. 35-37.
- Митюков Н.В. Бронепалубные крейсера типа «Рейна Рехенте». — М.: Морская коллекция, 2006. — С.32.
- Рожевский, Бабичев. Обзор производства броневых плит для вертикальной защиты судов. — Л.: НИИ военного кораблестроения ВМС РККА, 1933.
- Основания устройства и конструкция орудий и боеприпасов наземной артиллерии / Под ред. полк. И.А. Соколова. — М.: Воениздат, 1976. — С.459.
- Сулига С.В. Корабли русско-японской войны: Справ. издание. — Т.1. — М.: Аскольд, 1993. — 56 с; Т.2. — Якутск: Сахаполиграфиздат, 1995. — С.48.
- Титушкин СИ. Корабельная артиллерия в русско-японской войне // Гангут. — 1997. — № 7. — С. 64-79.
- Хмара Ю.М. Броневые, артиллерийские и коэффициенты относительной боевой эффективности броненосных кораблей русско-японской войны. — М., 1999. — С.42.
- Чаусов В. Н. Артиллерия и броня //Линкоры Второй мировой. — М.: Коллекция, Яуза, ЭКСМО, 2005. — С. 232-254.
- Шершов А.П. История военного кораблестроения с древнейших времен до наших дней. — СПб.: Полигон, 1994. —С. 360.
- Широкоград А.Б. Энциклопедия отечественной артиллерии. — Минск: Хар-вест, 2000. — С.1156.

Н.МИТЮКОВ
кандидат технических наук

**Так как отдельные деятели журнала «Морской сборник»
занимаются «заимствованием» чужих фотографий – то совесть
меня не мучает за воровство этой статьи.
Считайте это маленькой мезтью.**

Н. Митюкову – мои извинения. В статье я поправил только явные грамматические ошибки, и то не все.

*Кочетов Михаил, Новороссийск
colonel@nsma.ru*