

**А.В. Коробейников
Н.В. Митюков**

БАЛЛИСТИКА СТРЕЛ

по данным археологии



Ижевск 2007

Негосударственное образовательное учреждение
«Камский институт гуманитарных и инженерных технологий»

А.В. Коробейников
Н.В. Митюков

**БАЛЛИСТИКА СТРЕЛ
ПО ДАННЫМ АРХЕОЛОГИИ:
введение в проблемную область**

Ижевск 2007

УДК 902/904/623.561

К 68

ББК 63.400 + 63.48(2Рос.Удм)-425+К

Настоящее исследование выполнено в соответствии с тематикой “Историческая реконструкция параметров технических систем” (шифр “СТРЕЛА”, Государственный регистрационный № 01.2006–14646, код ВНТИЦ 024000230–0388).

Рецензенты:

А.В. КОРОТАЕВ, доктор философии, доктор исторических наук, профессор, директор Центра антропологии Востока Российского государственного гуманитарного университета, ведущий научный сотрудник Центра цивилизационных и региональных исследований и Института востоковедения РАН

А.Э. ПУШКАРЕВ, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики, теории механизмов и машин Ижевского государственного технического университета

Коробейников А.В., Митюков Н.В.

К 68 Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область. – Ижевск: Изд-во НОУ КИТ, 2007. – 140 с.

ISBN 978-5-902352-20-4

Книга очерчивает круг проблем в области исторической баллистики стрел, описывает алгоритмы исследовательских задач в этой области и знакомит читателя с некоторыми результатами, которые иллюстрируют возможности междисциплинарного подхода.

Ключевые слова: археология; методология археологии; реконструкция (ист); моделирование историческое; имитационное моделирование; памятники археологические; городища; краеведение; баллистика; военная история, моделирование боевых действий.

УДК 902/904/623.561

К 68

ББК 63.400 + 63.48(2Рос.Удм)-425+К

ISBN 978-5-902352-20-4

© А.В. Коробейников, Н.В. Митюков, 2007
© НОУ «Камский институт гуманитарных и инженерных технологий», 2007

6. БРОНЕБОЙНЫЕ ПРОНИКАТЕЛИ МАЛЫХ ЭНЕРГИЙ

Изучение вопроса о применении метательных снарядов в ретроспективе является одним из способов получения объективной информации для исторической реконструкции. Имея в руках те или иные археологические артефакты, например, наконечники стрел, и обладая знанием о типичных мотивах и вероятных способах их применения, можно восстановить ход исторических событий и сделать обоснованные предположения о характерных чертах и мотивах конкретного исторического субъекта. Кроме того, если говорить о наконечниках стрел, то они, наряду с фрагментами керамики, представляют собой едва ли не самый массовый материал находок, получаемых археологами. Вместе с тем, даже систематизация этого вида артефактов в целях его описания, каталогизирования, экспонирования и т.п. представляет собой пока неразрешимую задачу: едва ли не каждый археолог-исследователь оружия в России готов предложить собственную схему классификации наконечников стрел по параметрам, которые ему представляются наиболее привлекательными, и в такой ситуации не только машинная обработка массивов информации, но и простая коммуникация исследователей весьма затруднены. Тем не менее, наконечники стрел постоянно становятся темой многочисленных публикаций, клубы исторических реконструкторов проводят ролевые игры с применением метательного оружия. За рубежом издается масса научной и популярной литературы об изготовлении реплик исторических луков и стрел по тем или иным проектным параметрам, а на рынке имеются многочисленные предложения о продаже готовых предметов вооружения. Видимо, скоро мы станем свидетелями того, как мода на историческое оружие распространится и среди наших соотечественников. Уже сегодня внимание историка привлекает историческая проблематика баллистики цели, а именно способность стрел пробивать защитное вооружение, или их бронепробиваемость. По нашему мнению, применительно к стрелам, под бронепробиваемостью стрелы (или ее наконечника) следует понимать способность преодолевать защитное вооружение и проникать в защищаемое (заброневое) пространство, внедряясь в живую ткань на глубину, достаточную для нанесения организму воина летальных повреждений, или для производства останавливающего действия. Вопрос о глубине такого проникновения остается дискуссионным: в одних случаях достаточным считается проникновение в тело всего наконечника, в других – проникновение на глубину нескольких “калибров” (т.е. милделей?). По мнению криминалистов-баллистиков “для нанесения проникающего ранения на глубину, обеспечивающую поражение жизненно важных органов, «стрелы» должны обладать кинетической энергией не менее 15 Дж”, а

стрелы, имеющие массу в диапазоне 15–40 г, будут обладать кинетической энергией на границе поражения, если их скорость не менее 45–25 м/с [Холодное и метательное оружие]. С другой стороны, на практике смертельной (вследствие инфекции) иногда может быть и небольшая царапина, произведенная стрелой; видимо, недаром, одно из старейших средневековых руководств по стрельбе из лука было названо *Toxophilus* [Ascham]. Тем не менее, археологические свидетельства говорят нам, что для достижения технического результата, то есть пробивая доспех и входя в заброневое пространство, стрела должна обладать энергией в десятки джоулей [Коробейников, Митюков (1)]. Таким образом, физическая модель процесса бронепробивания может быть описана неравенством, одна часть которого выражает энергию снаряда в момент встречи с целью (вычисляется как половина произведения массы снаряда на квадрат его скорости), а вторая часть содержит сумму прогнозируемых потерь этой энергии на преодоление защитного вооружения (того или иного слоя цели). О пробитии брони можно говорить в случае, когда остаточная кинетическая энергия снаряда больше суммы его энергозатрат. Но за простой логической формулировкой кроется ворох неразрешенных доселе вопросов. Наверное, главным из них на сегодня является вопрос о методе познания и ассортименте исследовательских подходов, ведь вопросы баллистики и бронепробиваемости огнестрельных снарядов как современных, так и исторических решаются сегодня с привлечением ресурсов производителей снарядов и брони, то есть крупнейших промышленных корпораций и исследовательских учреждений, как частных, так и государственных. В свою очередь, полученные в этой области результаты и сами исследовательские методики не могут быть достоянием гласности, так как в соответствии с национальным законодательством во многих случаях не подлежат опубликованию в открытой печати. В то же время историческая баллистика стрел не сулит материального барыша, и считается, что она не оказывает влияния на безопасность государства. Поэтому она сплошь и рядом остается уделом одиночек-энтузиастов, не получающих финансирования и в лучшем случае объединенных в клубы по интересам.

6.1. Некоторые концептуальные аналоги

Для условий нашей страны характерным является положение, когда поиски необходимого финансирования исследований по исторической баллистике объективно вынуждают буквально “за уши” притягивать эти работы к той или иной оборонной тематике. На наш взгляд, наиболее показательным является пример археолога Ю.С. Худякова. Более десяти лет назад он выступил в качестве соавтора книги “Баллистика. От стрел до ракет” [Ведерников, Худяков]. По нашему мнению, данное сочинение явно распадается на две самостоятельные части – археологическую и баллистическую. Археологическая часть (это Глава 1, видимо, написанная названным археологом) содер-

жит фрагментарные ссылки на различные исследовательские подходы к типологизированию стрел известные на то время [Ведерников, Худяков, С. 60–65], а также сводные таблицы, иллюстрирующие состав археологических находок наконечников стрел разных народов Южной и Западной Сибири. В перечень опубликованных параметров включены форма наконечника, стреловидность его передней кромки в градусах, длина и ширина пера (?), удлинение (??) носика, размах и количество лопастей, площадь пера и количество стрел данного типа на одного стрелка (???) [Ведерников, Худяков, С. 53–56]¹. Автор делит описанные им стрелы на две функциональные группы – бронбойные (по его мнению, это стрелы “с жестким монолитным профилем”) и те, что предназначены для поражения незащищенных целей (по его мнению, это наконечники “со свободным хрупким профилем”) [Ведерников, Худяков, С. 57], которые способны наносить болезненные и кровоточащие широкие раны. Указывает он и на возможность существования стрел двойного назначения [Ведерников, Худяков, С. 63].

Данная работа, на наш взгляд, содержит рациональное зерно, сосредоточенное в двух утверждениях автора:

1. Для стрельбы по одной и той же цели могли применяться разные наконечники [Ведерников, Худяков, С. 61].

2. Истинность функциональных свойств, приписываемых отдельным типам наконечников, должна быть доказана только экспериментально [Ведерников, Худяков, С. 63].

Баллистическая часть публикации открывается второй главой, которая, судя по ее названию, долженствует описывать “методический подход механики сплошных сред к исследованию поликлиновых проникателей”². Квинтэссенция данной главы содержится во фразе, с которой мы полностью согласны: “Практика – критерий истины. Грамотно поставленный опыт – критерий правильности приведенных расчетов вне зависимости от расчетного метода” [Ведерников, Худяков, С. 95]. Посмотрим, какие же опыты были поставлены авторами публикации?

Из текста следует, что изготовленная ими модель стрелы была обдута в сверхзвуковой аэродинамической трубе при скорости потока от 4 М [Ведерников, Худяков, С. 105] до 6 М [Ведерников, Худяков, С. 123]³. Более сорока

¹ Следует сразу же заметить, что мы не найдем в данной публикации всех параметров, которые необходимы для баллистического расчета стрелы, например, массы наконечника, нет и никаких суждений относительно параметров древка, в котором, как известно, заключается значительная часть массы (и энергии) снаряда.

² Видимо, глава написана исследователем-баллистиком, который использует собственный термин для обозначения наконечников стрел: проникатели.

³ Напомним, что литерой М в физике обозначают число Маха, которое соответствует отношению скорости полета тела к скорости звука, равном 331,43 м/с. Соответственно, скорость 4 М – это 1325,72 м/с. С такой скоростью летают лишь пушечные снаряды и ракеты, но никак не стрелы, выпущенные из лука.

страниц текста главы содержат формулы и графики, построенные в результате названных экспериментов, но какое отношение все это имеет к внешней баллистике стрел? Проникающие свойства поликлиновых проникателей проверялись авторами в ходе обстрела снарядом диаметром 23 мм плит из алюминиевого сплава толщиной 30–40 мм, которые устанавливались на расстоянии 1,5–2,0 м от дульного среза метательной установки [Ведерников, Худяков, С. 145]⁴. Разумеется, ни таких стрел, ни такой брони, пробиваемой стрелами, в древности не бывало. В другом месте читаем, что использованная “баллистическая установка для пуска стрел” представляла собой изделие ПТРС-14,5 [Ведерников, Худяков, С. 98]⁵.

Следующая глава озаглавлена как “Уточнение баллистических свойств поликлиновых стрел с использованием физико-математических методик”. Она содержит интересный вывод: “Выяснилось, что минимальное сопротивление среды и наибольшая проникающая способность присущи⁶ проникателям с многолопастным сечением: трех-, четырехгранным и трех-, четырехлопастным” [Ведерников, Худяков, С. 159]. Вспомним, что это как раз те наконечники “со свободным хрупким профилем”, которые в первой главе противопоставлялись бронебойным наконечникам и преподносились, как предназначенные для поражения исключительно незащищенных целей, т.к. они способны наносить болезненные и кровоточащие широкие раны [Ведерников, Худяков, С. 57].

Заслуживает отдельного внимания параграф работы, озаглавленный: “Экспериментальные исследования класса полипластинчатых наконечников древних стрел, выделенного математическим классифицированием”. Здесь читаем о том, как “аэродинамические модели **древних стрел** были испытаны в аэродинамической трубе при числах $M = 2...3...4$ ” [Ведерников, Худяков, С. 177]. Но какое отношение имеет этот эксперимент по сверхзвуковому обдуву и его результаты к **древним стрелам**? Далее авторы приводят некоторые расчетные оценки баллистических характеристик стрел на траектории полета. Какие же исходные данные принимаются ими для расчетов траектории? А вот, например: “суммарную массу стрелы мы берем равной двум массам наконечников стрел...” [Ведерников, Худяков, С. 181]. Но откуда берется это соотношение? И этот вопрос остается без ответа.

Материал этого издания, видимо, был набран из рассекреченных отчетов по противоспутниковому кинетическому оружию Новосибирского Академгородка и не имеет ни малейшего отношения ни к истории, ни к баллистике стрел. Мы, конечно же, могли бы пройти мимо этой книжки. Если бы не два обстоятельства. Первое: попробуйте заговорить с археологом или историком

⁴ Умеющий читать да поймет, что экспериментаторы обстреливали броню из пушки.

⁵ Противотанковое ружье Симонова образца 1941 г. калибра 14,5 мм и начальной скоростью пули 1012 м/с.

⁶ Видимо, на названных сверхзвуковых скоростях и для относительно толстой гомогенной брони из алюминия?

метательного оружия о проблематике внешней баллистики, и более чем вероятно, ваш собеседник назовет Ю.С. Худякова в качестве ведущего эксперта в данной области. Наш интерес к внешней баллистике древних стрел порождает недоумение многих историков и археологов: дескать, о чем тут еще говорить, ведь коллега Худяков уже все написал и все рассчитал. Но, как мы видели, далеко не все. А из устоявшегося имиджа Ю.С. Худякова вытекает и второе обстоятельство, позволяющее ему бесконечно тиражировать некоторые тексты, имеющие вид исследований по типологии и баллистике стрел (например, [Худяков]). О соответствии таких сочинений заявляемой проблематике можно судить хотя бы по приводимому нами фрагменту текста, опубликованного в 2005 г. [Борисенко, Ведерников, Худяков, С. 63] (рис. 6.1).

ния стрелы (в калибрах миделя). На основании экспериментов выведена приближенная формула глубины проникания для асимметричного бойка [1, с. 195–258]:

$$L_k = l_0 / 2 \alpha \rho_{02} / \rho_{01} l_n [1 + \alpha_0 (\rho_{01} V_0^2 / H_1)],$$

где l_0 – длина бойка, ρ_{01} и ρ_{02} – плотности преграды бойка, V_0 – скорость удара, α_0 – коэффициент сопротивления бойка, H_1 – твердость преграды по Бринеллю. В диапазоне скоростей удара древними стрелами эта формула удовлетворительно описывает проникающую способность бойков со звездообразным поперечным сечением.

О других броневой характеристиках поликлиновых стрел с круговым звездоподобными миделями (наибольшими поперечниками) можно судить по сравнительным экспериментальным результатам. Так, при наличии углов нутации поликлиновые стрелы обладают лучшей проникающей способностью, чем асимметричные эквиваленты. При наклонном ударе стали по стали со скоростью 1625 м/с четырехклиновый и асимметричный корпуса диаметром 2,3 см при ударе под углом 45° от нормали к преграде выбили соответственно объемы 24,6 и 19,2 см³. При косом соударении невращающихся бойков отличие значительно и составило 28 %. При вращении относительно продольной оси даже с малыми числами оборотов происходит поломка клиньев и за счет этого резкое уменьшение проникающей способности поликлиновых ударников [3, с. 143–145].

При наклонном пробитии алюминиевых преград звездообразными бойками с разной стреловидностью передних кромок клиньев замечено существенное повышение их антирикошетных свойств в сравнении с асимметричными эквивалентами. Так, на преграде из АМГ-6 толщиной 20 см при скорости 1350 м/с с углом подхода 55° от нормали к ней все звездообразные ударники обеспечили сквозное пробитие. Асимметричный эквивалент остался в преграде с направлением проникания вдоль поверхности плиты. При угле подхода 65° от нормали получено сквозное пробитие только звездообразным бойком с отрицательной стреловидностью ($X = -45^\circ$) и тупыми передними кромками. Для остальных корпусов наблюдался рикошет. Улучшением антирикошетных характеристик обязаны своим долгом в военной практике древние стрелы с некруговым поперечным сечением. Эту весьма важную особенность поликлиновых стрел необходимо учитывать при компьютерном проектировании рациональных современных средств индивидуальной защиты личного состава.

Рис. 6.1. Фрагмент работы Ю.С. Худякова

Здесь мы видим не только загадочные и неизвестные исторической науке наконечники звездообразного сечения (которые к тому же и не симметричны???), но и приснопамятные космические скорости стрел с пушечным калибром 23 мм, и брони толщиной в 20 см⁷. Сентенция заканчивается совершенно умильной

⁷ Публикацию предваряет указание, что данное исследование “Прочностных характеристик средневековых доспехов воинов Западной и Южной Сибири” выполнено по гранту РФФИ (!!).

для всякого военного рекомендацией учитывать экспериментальные данные автора при проектировании средств индивидуальной, то есть переносимой на себе индивидом противоснарядной (!) бронезащиты личного состава.

Однако в полемическом задоре мы не должны проходить мимо концептуальных естественнонаучных публикаций, в которых принимал участие названный археолог. В качестве таковой нам представляется большая статья, опубликованная им совместно с сотрудниками двух Новосибирских институтов [Коробейников, Худяков]. Как явствует из названия и введения статьи, ее авторы поставили перед собой задачу смоделировать процесс пробивания стрелой защитного вооружения номадов Центральной Азии, а затем провести сравнительный анализ различных доспехов. Для этого было использовано соответствующее программное обеспечение. Однако, на наш взгляд, концептуальные построения авторов были далеки от исторических реалий. Так, например, они сообщают, что ими “проверяется возможность разрушения фрагментов защитного вооружения при прямом попадании стрелы в центральную часть одной из пластин защитного вооружения (наихудшие условия по отношению к защитным свойствам панциря)” [Коробейников, Худяков, С. 197]. В то же время, простая логика подсказывает, что с точки зрения уровня защиты пластинчатого панциря попадание стрелы в центр пластины является наиболее оптимистичным сценарием: гораздо выше вероятность пробития пластинчатого доспеха при попадании в край пластины или в сочленение пластин. Авторы говорят, что “математическое моделирование процесса разрушения фрагмента защитного панциря осуществляется с помощью решения динамической задачи о совместном деформировании панциря и тела человека... Показано, что при ударе стрелы разрушение пластины происходит вследствие ее изгиба при зарождении трещины на противоположной от воздействия стрелы стороне пластины” [Коробейников, Худяков]...“...Модель панциря, одетого⁸ на тело человека представляет трехслойную область”. Далее читаем, что первый из моделированных слоев является собой защитный панцирь, второй слой – мягкие ткани тела человека, а третий слой – ребра [Коробейников, Худяков, С. 198]. Весьма странно, что упомянутые исследователи защитного вооружения полагают, будто панцири надевались на голое тело. Неужели они ничего не слышали о поддоспешной одежде, и по этой причине не вводят в свою модель амортизирующий слой стеганой боевой рубахи или дублета⁹?

Далее читаем, что: “Налетание стрелы на панцирь моделируется заданием ненулевой начальной скорости v_0 ” [Коробейников, Худяков, С. 206]. Каков же диапазон принятых исследователями расчетных скоростей? В табл. 1 [Коробейников, Худяков, С. 208] видим, что, по мнению авторов, стрелы

⁸ Мы намеренно сохраняем орфографию документа.

⁹ Данное обстоятельство мы объясняем тем, что работы производились по тематике, связанной с разработкой современных бронезилетов скрытого ношения.

внедряются в броню со скоростью от 0,9 до 1,7 м/с¹⁰. Здесь необходимо подчеркнуть, что данный диапазон скоростей противоестественен с точки зрения здравого смысла (горизонтальный полет тела тяжелее воздуха с такой скоростью при отсутствии подъемной силы невозможен); этот диапазон никак не соответствует принятому теми же авторами диапазону космических скоростей, о котором мы упоминали выше.

Поэтому приходится констатировать, что условия моделирования, произведенного группой Ю.С. Худякова, не соответствуют реальному применению доспехов и стрел. И в силу указанного обстоятельства произведенное исследование, несмотря на его явное наукообразие, для исторической науки, для изучения доспехов и стрел совершенно бесполезно¹¹.

6.2. О научном подходе к моделированию бронепробивания

Несмотря на неутешительный вывод, озвученный нами выше, считаем, что моделирование баллистики цели (бронепробивания) древних стрел с помощью системного пакета программ должно иметь перспективу. Здесь перед нами встают несколько взаимосвязанных проблем. Для того чтобы не загромождать наш текст, отошлем читателя к нашим предыдущим публикациям:

Во-первых, исследователям необходимы реальные расчетные параметры снаряда и цели. В этом направлении мы ведем работу, которая уже дала свои результаты – нами создано и апробировано программное обеспечение, которое позволяет более или менее точно реконструировать проектные и баллистические параметры стрелы в сборе по ее археологическим следам, то есть по наконечнику [Коробейников, Митюков (5)], [Коробейников, Митюков (2)].

Кроме того, в целях унификации исследовательских подходов к баллистике стрел и обеспечения возможности машинной обработки массивов данных о них, нами предложена система кодирования информации о стрелах, которая предусматривает отражение полного перечня параметров снаряда, которые влияют на технический результат [Коробейников, Мингалев].

Во-вторых, для строительства алгоритмов нам необходимы системы уравнений адекватно отражающих физические процессы взаимодействия стрелы и цели. Однако наиболее важной задачей, к осуществлению которой можно приступить немедленно, нам представляется логическое моделирование процесса бронепробивания.

¹⁰ Для образного представления переведем эти скорости в другие единицы и получим, что диапазон принятых скоростей, равных 3,2...6,1 км/ч. Покажите нам стрелу, которая летит со скоростью пешехода!?

¹¹ Несмотря на явную бесполезность произведенной работы, она получила финансирование от Российского Фонда Фундаментальных исследований и финансировалась грантом Министерства образования РФ.

6.3. Краткий перечень энергозатрат стрелы

В целях логического моделирования процесса пенетрации попытаемся детально определить состав энергозатрат стрелы, которые включаются в общий баланс баллистики цели. Конечно же, мы не можем здесь детально описывать или учитывать весь ассортимент принципов обеспечения бронестойкости, да и сама стойкость доспеха не исчерпывает боевых характеристик системы вооружения. Тем не менее, намеренно избегая ранжирования боевых характеристик, мы рассматриваем в первом приближении физический смысл процесса проникновения стрелы в цель¹².

1. Ударная волна. Видимо, первым фиксируемым свидетельством попадания стрелы в броню является звук от соударения. Стрела и цель распространяют колебания, которые мы способны воспринять органами слуха. Вероятно, какая-то часть энергии этих колебаний распространяется также и в ультра- и инфразвуковом диапазоне. Понятно, что при баллистических расчетах огнестрельных снарядов, которые имеют кинетическую энергию в миллионы джоулей, потерями энергии на формирование ударной (звуковой) волны пренебрегают, но для стрел, которые доносят до цели энергию величиной в десятки джоулей, эта величина может учитываться в общем балансе.

2. Упругая деформация. При ударе в цель стрела стремится переместить цель в направлении, противоположном вектору своего движения. Понятно, что если стрела ударяется в массивную (инерциальную) преграду – щит, кирасу и т.п., то она не может вывести цель из состояния равновесия. Иное дело пластинчатая броня или кольчуга – небольшой подвижный элемент имеет возможность перемещаться без разрушения, а энергия снаряда гасится поддоспешной одеждой. Степень упругости такого перемещения может зависеть от массы элемента доспеха, способа его скрепления с другими элементами, от толщины и материала поддоспешных амортизаторов, угла встречи и пр.

3. Пластичная деформация. Стрела прогибает преграду, причем в пластинчатом доспехе деформации подвергается лишь один из съемных элементов. При этом местное напряжение в точке удара распространяется на всю площадь смятой поверхности.

4. Пенетрация. Стрела проникает в материал доспеха, совершая его пробитие в узком смысле слова. Понятно, что величина лобового сопротивления цели стреле пропорциональна степени заостренности бойка и величине площади его поперечного сечения. Считается, что условием пенетрации является

¹² Средневековый хронист сообщает о пробитии слоев цели: "...The arrow pierced the blazon of William Dispencer, and through three folds of mail armor, and through the three pliues of his acqueton (a padded jacket), and into his body, so that he lay there dead of the blow..." Цит. по: [Soar, P. 71]. Хотя, на наш взгляд, указание на трехслойную кольчугу и трехслойный стеганный поддоспешный камзол в части количества слоев является здесь поэтическим преувеличением.

твёрдость носика наконечника, которая должна быть больше, чем твёрдость брони.

5. Стрела проходит через отверстие, образованное бойком, испытывая боковой поверхностью воздействие силы трения. Через отверстие “протискивается” наконечник (а при коротком наконечнике и часть древка), таким образом, толстая поддоспешная одежда увеличивает путь до человеческого тела, на протяжении которого на стрелу воздействует тормозящая сила.

6. Стрела производит местное уплотнение поддоспешной одежды – дублета.

7. Стрела производит пенетрацию дублета.

8. Стрела преодолевает силы трения боковой поверхностью в отверстии дублета.

9. Стрела внедряется в живую ткань. При этом сила трения поверхности стрелы в цели определяется как сумма сил трения в отверстии брони, в отверстии дублета и в раневом канале. Следовательно, для уменьшения затирания стрелы требуется иметь ее максимальное сечение (мидель) наиболее приближенным к носику.

6.4. Механизм пенетрации и типология стрел

Апеллируя исключительно к доводам здравого смысла мы полагаем целесообразным изучать и типологизировать стрелы с точки зрения их назначения. Иными словами, в основу классификации следует положить тот технический результат, ради достижения которого все эти стрелы были использованы. Но если в качестве технического результата применения боевых стрел нами признается поражение живой силы противника с пробитием защитного вооружения (там где оно применялось), то для реконструкции боевого применения той или иной стрелы мы должны получить убедительные доказательства того, что эта стрела в принципе была способна дать такой технический результат. В качестве источника доказательств, видимо, следует принимать квалифицированные свидетельства очевидцев и современников, а также данные современных расчетов и экспериментов.

Наверное, в качестве одного из самых древних свидетельств специалиста в области стрельбы из лука следует признать трактат анонимного арабского автора, который датируется приблизительно 1500 годом н.э. [Arab archery].

Автор трактата (доступного нам в английском переводе с арабского) подразделяет наконечники стрел на пять типов: по признаку поперечного сечения он делит их на треугольные, квадратные и круглые, а по признаку общего очертания на удлиненные (в тексте употреблен термин *elongated*), и колпачковые (в тексте используется термин *caplike*, что может быть переведено и как цокольные, насадные, притупленного профиля, с малой степенью заострения и т.п.). [Arab archery, P. 107].

1. Самые короткие “треугольные” наконечники, по его мнению,

“подходят для пробивания щитов и иного металлического защитного вооружения, за исключением шлемов и иных поверхностей, по которым возможно скольжение снаряда (т.е. рикошет?). Длинные наконечники треугольного сечения подходят для поражения металлических шлемов и иных рикошетирующих поверхностей. Также они хороши для пробития деревянных преград.

Для таких наконечников древко стрелы должно быть цилиндрическим, а его диаметр не должен выходить за габариты сечения наконечника. А третий тип наконечника треугольного сечения, который имеет треугольные кончик (черешок) и треугольный боек (видимо, равной длины с черешком), является многоцелевым.”

2. Квадратного очертания (видимо, квадратные в сечении) наконечники автор подразделяет на длинные и короткие.

“Экземпляры относимые к длинной разновидности снабжаются четырьмя выступающими зубцами (невозвратными шипами) и предназначены для поражения небронированного противника и для охоты на крупных хищников, таких как львы...

*Короткие и компактные (в оригинале употреблен термин *сопраст*, что может быть прочтено как сплошные, массивные) наконечники предназначены для пробития щитов, нагрудников и пластинчатых доспехов”.*

3. Круглого очертания (видимо, круглые в сечении) также подразделяются автором трактата на длинные и короткие. *“Короткие чрезвычайно удобны для пробивания щитов, тогда как длинные хороши для пробивания пластинчатых доспехов, нагрудников, а также преград из дерева и ему подобных материалов”.*

Удлиненные (elongated) наконечники автор подразделяет на короткие, длинные, и зазубренные (в тексте “barbed”). Все они имеют цилиндрическое отверстие, в которое вставляется древко (т.е. речь идет о втульчатых наконечниках).

“Стрелы этого вида имеют широкие острые лезвия подобно Византийским копьям и острые бородки (зубцы) с каждой стороны. Они подходят для поражения незащищенного противника и для охоты на хищников. Наконечники длинной разновидности имеют, как правило, около четырех пальцев в длину, длинное лезвие и тонкое цилиндрическое основание, в которое вставляется древко. Они подходят для охоты на крупных хищников таких, как львы и на быстрых животных, таких как олени. Наконечники короткой разновидности имеют короткие лезвия, из которых торчат весьма острые шипы. Они хороши для поражения незащищенного противника и для охоты на хищников”.

Простейшие **колпачковые** (caplike – цокольные, короткие?) наконечники стрел по описанию автора похожи на наконечники копий разных видов, и так же как копья они имеют отверстия (втулки) для насада. *“«Черешковый» способ крепления наконечника к древку состоит в просверливании отверстия глубины чуть меньшей, чем длина черешка стрелы..., забивании черешка в торец древка и укреплении обмоткой...”* [Arab archery, P. 107–109].

Мы видим, что системообразующими признаками для автора трактата является в одном случае поперечное сечение наконечника, а в другом случае его внешнее очертание, а именно, степень вытянутости (или заостренности?).

Какие же наконечники, по мнению средневекового автора, являются бронебойными? Мы видели выше, что в качестве таковых могут быть использованы наконечники любого сечения, а круглый наконечник, на котором нет невозвратных шипов, является по определению бронебойным. Вполне логичным видится указание автора на то, что бронебойные наконечники не могут иметь невозвратных шипов: преодолевая броню такие шипы неминуемо сомнутся или обломятся. Длина наконечника также не является показателем бронебойности: понятно, что для поражения живой ткани под доспехом требуется наконечник большей длины, чем для пробития щита – ведь в первом случае необходимо пробить еще и поддоспешную одежду.

Из текста следует, что автор трактата вполне осознанно описывает проблему рикошета снаряда: он рекомендует использовать короткие наконечники (видимо, наконечники с малой степенью заострения) для пробития щитов. Можно закономерно полагать, что если воины держат щиты в руках, то плоскость этих щитов при прямом выстреле по настильной траектории пробивается стрелой по нормали, либо с малым отклонением от нормали. В то же время, длинные наконечники (с большой степенью заострения), по его мнению, более подходят для пробития бронированных поверхностей со сравнительно малыми радиусами закругления – шлемов и нательных доспехов, с которых вероятен рикошет.

На наш взгляд, наиболее ценным является замечание средневекового автора относительно вероятности разрушения снаряда при попадании в бронированную цель. Он пишет:

“Стрелы со втулками, что были насажены на древки подобно копьям, не совсем хороши, ибо имеют склонность обламывать древко < при попадании в цель >. Они могут быть использованы только против небронированного противника и на охоте, когда лучника не заботит потеря стрелы. При стрельбе по твердым поверхностям, таким как щиты, не могут быть рекомендованы к использованию никакие другие наконечники стрел кроме тех, что имеют солидные¹³ черешки” [Arab archery, P. 110].

Из приведенного свидетельства однозначно следует, что признаками бронебойного предназначения стрелы в представлениях средневекового автора является ее черешковый насад и отсутствие невозвратных шипов.

Данное утверждение интересно в сравнении с синхронным свидетельством Роджера Аскама¹⁴ (Roger Ascham), которое имеет точную датировку –

¹³ Употребленный в оригинальном тексте английский термин Solid может иметь значения: сплошной, массивный, крепкий, значительный и т.п.

¹⁴ В русскоязычной литературе встречается написание Ашем, Эшем.

1545 г.: “Короткие наконечники лучше длинных, ибо <последние?> всегда испытывают риск разрушения при попадании¹⁵” [Soar, P. 21].

Тот же автор считает, что “наши английские наконечники более подходят для войны, чем вилкообразные¹⁶ или широкие. Во-первых, в силу своей легкости они летят гораздо быстрее и поэтому наносят болезненные раны. Я считаю, что если бы имеющиеся на них небольшие невозвратные шипы были бы вовсе удалены, то их скорость еще бы возросла” [Hardy, P. 137].

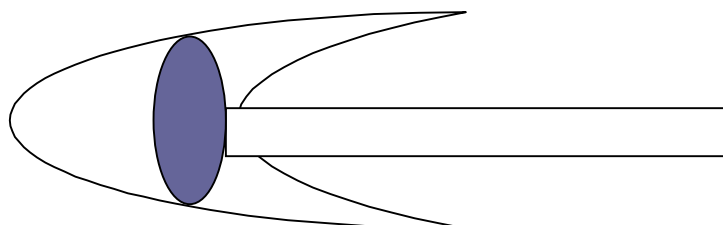


Рис. 6.2. Схематическое изображение наконечника с невозвратными шипами. Сплошной заливкой показано поперечное сечение

Видимо, базируясь на средневековой традиции, английские исследователи стрел разработали систему идентификации доисторических и средневековых артефактов, которая известна под названием Каталог Лондонского Музея (London Museum Catalogue – L.M.C., или типология Варда-Перкинса (Ward-Perkins) [Ward-Perkins]. Наконечники стрел здесь разделены на 21 категорию. В типологии выделены стрелы для пробивания кольчужных и пластинчатых доспехов. В качестве характерного признака этих бронебойных стрел выступает их форма без выступающих частей, которая позволяет беспрепятственно проникать в плотный материал. Иной тип представляют стрелы, предназначенные для проникновения в живые ткани, вызывающие кровотечения и поражающие жизненно важные органы. Они снабжены невозвратными шипами. Далее выделяются стрелы со втульчатым и черешковым насадом. Каждый из 21 варианта представляет собой фиксированное сочетание признаков назначения, способа насада, и внешнего очертания. Однако данная классификация не является иерархической, и работа с ней строится путем простого перебора базы данных и поиска наиболее близкого варианта.

В целях усовершенствования учетных принципов Лондонского музея О. Джессоп (Oliver Jessop) предложил собственную классификацию с эле-

¹⁵ В оригинальном тексте: “Shorte heads be better than longe because they (the long heads) are always in more jeopardye of breaking when they are on”. Но если поясняющая ремарка в скобках (the long heads) является вставкой издателя, то смысл фразы средневекового автора меняется на противоположный.

¹⁶ Употребленный автором термин Forked head, по нашему мнению, может однозначно обозначать разветвленный наконечник с сильно развитыми невозвратными шипами, которые имеют вид ласточкиного хвоста (рис. 6.2). Сечение такого наконечника в середине линзовидное.

ментами иерархии признаков [Jessor]. Здесь каждый артефакт кодируется буквенно-цифровым сочетанием. Литера обозначает класс, а цифра тип в классе. Так, черешковые наконечники обозначены литерой T (от tang – хвостовик), боевые литерой M (от military), охотничьи литерой H (от hunting), многоцелевые MP (multipurpose), а тренировочные литерой P (practice). После литеры следует номер типа, а общее количество сочетаний равняется 28 [Soar, P. 211–212]. Несомненным достоинством данной системы является ее резервность – количество буквенно-цифровых сочетаний, в отличие от типологии L.M.C. не является изначально заданным и конечным. Однако в классификации Джессопа в качестве типобразующего признака в одном случае избран способ насада, а в другом – гипотетическое назначение наконечника. Кроме того, нам совершенно непонятно, как в этой системе может быть закодирован втульчатый насад, или боевые черешковые наконечники, свидетельство о которых мы приводили выше? Явным недостатком данной классификации является и то, что она основана исключительно на археологическом материале, который был получен на Британских островах и датируется X–XVI вв. Следовательно, эта классификация является узколокальной во времени и пространстве и артефакты, относимые к иным культурам и периодам, не могут быть ею идентифицированы.

6.5. Фрикционная гипотеза пенетрации и ассортимент наконечников

Несомненный интерес для исторической баллистики стрел представляют экспериментальные данные, полученные современными энтузиастами в результате стрельбы из лука по мишеням, которые реконструируют средневековое защитное вооружение. Достоинством таких экспериментов является то, что в них воссоздаются близкие к реальным условия взаимодействия снаряда и цели: масса и скорость снаряда, его форма и угол встречи с преградой, прочностные характеристики и мера инертности преграды и т.д. (рис. 6.3).

В.Т. Томпсон (W.T. Thompson) предложил формулу для расчета проникающей способности конических наконечников при ударе в пластину брони по нормали:

$$W = \pi R^2 h_o \left[\frac{1}{2} \sigma_y + \rho \frac{(VR)^2}{L} \right],$$

где W – работа снаряда; $2R$ – диаметр снаряда (мидель); h_o – толщина брони; σ – предел упругости брони; ρ – плотность брони; V – глубина проникновения; R/L – степень заостренности наконечника.

Видно, что величина необходимой работы проникновения пропорциональна толщине и прочности преграды. В соответствии с этим уравнением для минимизации работы на пробитие следует применить длинный узкий наконечник с минимальным диаметром и минимальным отношением диаметра $2R$

к длине L . Такой наконечник уменьшает объем разрушаемой брони – понятно, что этот объем находится в прямой зависимости от величины поперечного сечения проникателя. Вдобавок, узкий боек позволяет получить высокое удельное давление на единицу площади. Однако предлагаемая формула не учитывает упругой и пластичной деформации, а также пренебрегает силами трения снаряда в пробитом канале. Следует полагать, что хрупкие материалы подвержены пенетрации при малой деформации, и, следовательно, будут пробиты при меньшей энергии, чем та, что можно вычислить с применением предложенной формулы. Явным недостатком формулы видится и то, что она выведена исключительно для снарядов круглого сечения [Jones (2), P. 206–207].

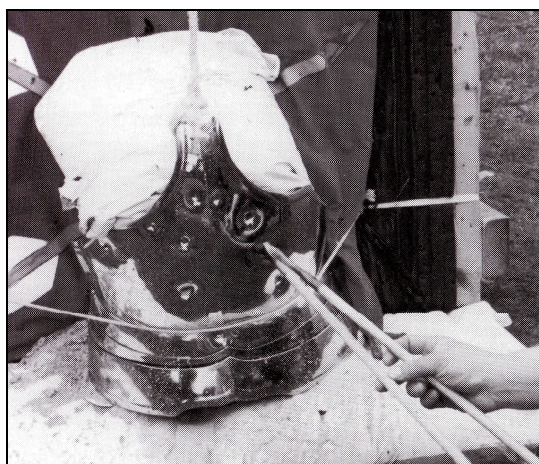


Рис. 6.3. Нижняя часть сборного доспеха, надетая на манекен¹⁷. Видны конические вмятины в месте попадания стрел, круглые отверстия и сами стрелы с длинными шиловидными бронебойными наконечниками, которые имеют втульчатый насад¹⁸
[Soar, P. 112]

Кроме того, по нашему мнению, отклонение угла встречи стрелы с броней от нормального (т.е. от угла в 90°) на практике является скорее правилом, чем исключением. Вследствие так называемого “парадокса лука”¹⁹, рыскания вследствие ветрового воздействия и тангажа, связанного с подъемной силой стрелы, продольная ось стрелы и вектор ее движения часто не совпадают. Таким образом, моделирование реальных условий рикошета является актуальной задачей.

Конечно же, мы имеем эмпирическую формулу Демара (Jacques De Marre), полученную конструкторами артиллерийских систем в XIX в.:

$$W \frac{(V \cos \theta)^2}{d^3} \geq C \left(\frac{t}{d} \right)^\alpha,$$

¹⁷ Это т.н. набрюшник или “брюхо” по терминологии В. Бехайма (нем. Bauchraifen, англ. great brayette, фр. brasconiere) [Бехайм, С. 83, 99]

¹⁸ В английской традиции такие наконечники называют bodkin.

¹⁹ Так как рукоять лука, на которую наложена стрела, имеет некоторую толщину, а вектор движения тетивы проходит через середину рукояти, то векторы движения тетивы и стрелы не совпадают. Кроме того, в момент удара тетивы по хвостовику стрелы, вследствие инертности наконечника древко начинает волнообразно изгибаться, что приводит к рысканию стрелы в полете.

где W – вес снаряда; V – скорость снаряда; θ – угол встречи с броней; d – диаметр снаряда; t – толщина плиты; C – эмпирическая постоянная; α – эмпирическая постоянная. Приведенная формула показывает, что при отклонении угла встречи от нормали растет и критическая скорость снаряда, необходимая для пробития брони.

Британские исследователи стрел сообщают, что в целом бóльшая проникающая способность шиловидных наконечников (видимо, в сравнении с теми, что мы приводим на рис. 6.2?) была установлена ими экспериментально: в соответствии с приведенными формулами для них требуется меньшая скорость пробивания [Jones (2), P. 207]. Однако, на наш взгляд, при отсутствии полных данных об условиях экспериментов этот вывод можно принять безоговорочно лишь для черешковых удлинённых наконечников, которые попадают в цель под прямым углом. Несомненно, экспериментальные стрéльбы, производимые нашими современниками в условиях реальных скоростей и энергий, позволяют глубже понять механизм взаимодействия стрелы и цели и подтверждают эмпирические данные средневековых источников. Наиболее показательной в этом плане является картина, приводимая нами на рис. 6.4, иллюстрирующая разрушение короткого втульчатого наконечника при попадании в преграду. Масса такого наконечника незначительна в общей массе снаряда, следовательно, после внедрения наконечника в металл сравнительно массивное древко продолжает свое движение по инерции, обламывая стенку втулки и узел крепления, таким образом, разрушается возникшим изгибающим напряжением. Вследствие схода наконечника с древка кинетическая энергия отделившегося древка исключается из общего баланса, она уже не работает на пробитие преграды. Как мы видим на приводимом рисунке, пробитие брони здесь не достигнуто; снаряд вошел в заброневое пространство на половину своей длины, или приблизительно на два диаметра. В этом случае трудно предполагать, что была пробита поддоспешная одежда и снаряд произвел проникающее ранение, поразив жизненно важные органы²⁰.

П. Джонс сообщает о серии экспериментов, в ходе которых обстреливались листы металла, которые по своей твердости, толщине и качеству выделки близко соответствовали материалу средневековых доспехов. Испытательные стрелы были снабжены длинными коваными втульчатыми шиловидными наконечниками длиной около 130 мм и диаметром около 10 мм (если судить по масштабу рисунка в тексте статьи). Указана их твердость по Викерсу – HV 350. Дистанция стрельбы составила десять метров, стрелы выпускались из тисового лука с силой натяжения 70 фунтов (31,7 кг) и амплитудой тетивы 28 дюймов (71,1 см).

²⁰ Можно предположить, что использование разрушающихся наконечников имело некоторые резоны: по крайней мере, они делали невозможным обратный огонь подобранными снарядами.

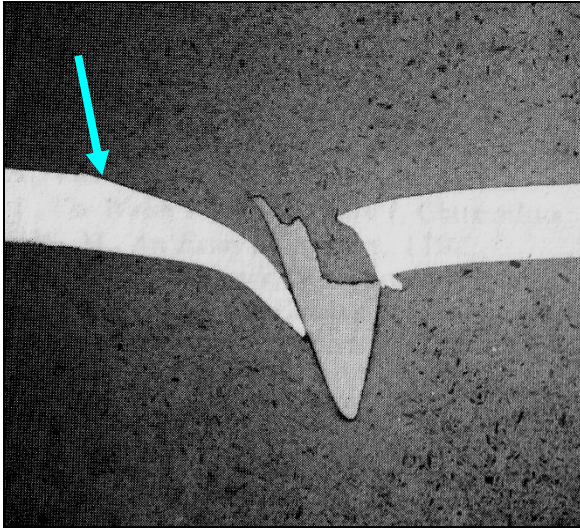


Рис. 6.4. Механизм перфорации плоской поверхности стрелой при отклонении от нормали 60° . Видны: точка попадания (указана стрелкой), канавка скольжения длиной не менее 3-х диаметров стрелы, прогиб металла брони, наклеп на кромке выходного отверстия и наконечник, который потерял древко вследствие разрушения втулки. Носик наконечника смялся в направлении, противоположном вектору движения [Jones (2), P. 207]

Масса стрел находилась в диапазоне 55–65 г, а скорость 37–39 м/с. Было установлено, что:

- броня толщиной 3 мм не пробивается ни при каких условиях,
- броня толщиной 2 мм пробивается по нормали, стрела входит в мишень на 11 мм, а при отклонении от нормали в 20° броня не пробивается,
- броня толщиной 1 мм пробивается: при ударе по нормали стрела входит в отверстие на 51 мм, а при отклонении от нормали на 20° лишь на 43 мм,
- при отклонении от нормали в 40° стрела не пробивает мишеней, а ломается в месте насада [Jones (1), P. 115–116].

Замеченное смятие носика наконечника может показаться тривиальным, однако, на наш взгляд, прочность снаряда в этой точке имеет определяющее значение именно при косом ударе, когда смятый кончик образует на броне поверхность скольжения, и благодаря скольжению снаряда по броне его энергия “размазывается” по большой площади. Таким образом, при косом ударе смятый носик не может “зацепиться” за броню за счет внедрения в нее, а силы поверхностного трения для сцепления с броней также недостаточно. Иными словами, носик лишь царапает броню и снаряд рикошетирует.

Известно, что величина сухого трения пропорциональна давлению поверхностей друг на друга. С другой стороны, коэффициент трения зависит от температуры тел и значительно уменьшается с ростом скорости между трущимися телами. Лишь при малых скоростях и температурах его можно считать равным коэффициенту трения покоя. При косом ударе огнестрельных снарядов о броню мы имеем дело с громадными скоростями движения: при полете по баллистической траектории скорость составляет несколько сот метров в секунду. При ударе пуль и снарядов выделяется значительная тепловая энергия, достаточная для расплавления металлов (стоит лишь вспомнить про свинцовые брызги). Поэтому вполне естественно, что при моделировании баллистики цели огнестрельных снарядов исследователи пренебрегают силами трения, которые действуют на границе взаимодействующих поверхностей.

Иное дело стрелы, выпущенные из лука: скорость их движения ограничена десятками метров в секунду, выделение тепловой энергии при ударе ничтожно. Таким образом, логичным становится вывод о том, что силы трения при косом ударе должны быть включены в общий баланс. Это позволяет наметить пути формулирования фрикционной гипотезы пенетрации. Известно, что если силы, приложенные к телу, стремятся его сдвинуть по опорной поверхности, то в месте соприкосновения помимо нормальной составляющей реакции N возникает касательная составляющая, направленная против движения действительного или возможного, которая и является силой трения T . Для движущегося тела $T < fN$, где f – коэффициент трения скольжения (для трения в паре сталь по стали он равен 0,15).

Углом трения φ называют угол между полной реакцией поверхности (с учетом силы трения) и нормальной реакцией поверхности (в случае со стрелами величина N зависит от угла встречи с поверхностью цели). Для условия, что тело не скользит по поверхности, этот угол называют предельным углом трения. Известно, что $\varphi = \text{arctg } f$. Таким образом, в предположении отсутствия упругой и пластичной деформации можно в качестве задачи на будущее вывести уравнение рикошета, связывающее воедино угол падения снаряда и его энергию.

Таким образом, мы видим, что трение наконечника о броню доспеха в условиях косого удара может играть положительную роль в уменьшении рикошета. Но увеличение поверхностного трения шиповидного наконечника возникает при его деформации; поверхность трения образуется, когда кончик, смятый в сторону, противоположную вектору движения, скользит по броне. Разумеется, деформация острия в этом случае резко уменьшает величину удельного давления снаряда на цель, и уменьшает вероятность ее пробития. К тому же, владелец защитного вооружения увеличивает вероятность рикошета путем полировки металлической поверхности. Поэтому, в предположении действия сил трения оптимальный снаряд должен иметь кончик, который представляет собой готовую поверхность скольжения, имеющую некоторую протяженность, но в то же время эта поверхность должна быть несминаемой и достаточно острой, чтобы обеспечить удельное давление, необходимое для пробития. Представляется вероятным, что столь противоречивые требования к наконечнику могут быть реализованы в устройстве, которое имеет широкую рабочую часть с дугообразной режущей кромкой. Такое лезвие в момент удара работает как топор или сабля: плоскость цели представляет собой касательную к поверхности трения. Если мысленно моделировать соударение брони и наконечника (“ребром на плоскость”), выполненного в виде сектора с угловой величиной в 45° , то при отклонении от нормали до 45° возможность полного рикошета и даже скольжения по поверхности должна быть проверена экспериментально. Но можем ли мы свято верить в данные экспериментов?

В научной и популярной литературе циркулируют многочисленные утверждения, способные поразить воображение читателя. Что стоят указания ис-

ториков о том, что²¹ “в связи с внедрением пластинчатой брони английские лучники стали использовать шиловидные бронебойные наконечники (bodkin). Причем на такой наконечник помещался кусочек воска. Наконечник, подготовленный указанным способом, был менее подвержен скольжению по поверхности металла и вся энергия стрелы концентрировалась в точке попадания. Эксперименты показали, что стрелы с шиловидным наконечником, выпущенные из лука с силой натяжения 75 фунтов (~34 кг), внедряются в стальную плиту на глубину до четверти дюйма (~6 мм). В ходе экспериментального обстрела подлинных образцов старинных доспехов можно было видеть, что стрела высекает искры в момент удара. Броня пробивалась, а стрела продолжала движение и внедрялась в дерево на глубину до восьми дюймов (~200 мм)” [Hurley, P. 22]. Как можно прокомментировать приведенный пассаж?

1. Первое, что бросается в глаза, так это путаница в терминах для обозначения бронебойной защиты – автор говорит о некоей “plate mail”. Однако, известно, что термином plate armor обозначаются доспехи из пластин (от английского plate – пластинка), а термин mail обозначает кольчугу, то есть доспех из колец. Однако из контекста можно догадаться, что речь идет все-таки о пластинчатой броне.

2. Воск, вследствие своей вязкости (липкости) может служить уменьшению рикошета с гладкой поверхности; в этом легко убедиться, если провести сначала металлом по любой гладкой поверхности, например, чистой вилкой по тарелке, а потом прилепить на ту же вилку шарик застывшего воска. В этом случае вязкий и легко деформируемый воск, помещенный на наконечник стрелы, играет ту же роль, что и сминаемые баллистические колпачки современных бронебойных снарядов. Но если в момент удара снаряда в цель мы видим искры, значит, никакой демпфирующей среды между металлами при этом нет, а сами металлы разогреваются по крайней мере до температуры красного свечения, то есть до многих сотен градусов. Если выделение большой тепловой энергии, достаточной для искрообразования все-таки происходит, значит, воск, несомненно, переходит в жидкое состояние, вязкость его резко падает, и он играет роль смазки, облегчая проникновение снаряда в пробоину. Таким образом, условия эксперимента остаются неясными: если воск помещается на кончике рабочей части, то он уменьшает рикошет, но гасит искры, а если кончик рабочей части выступает из воска, то он высекает искры, а воск при этом не оказывает влияния на рикошет, но может служить смазкой.

²¹ Приводим авторский абзац в оригинале и без малейших изъятий: “When plate mail came into use, the English developed a bodkin point to achieve maximum penetration. It was the English practice to place a bit of wax on the bodkin. A bodkin so treated was less liable to glance from the metal surface; full energy was thus concentrated at the point of impact. Experiments have shown that a 75-pound bow, using bodkin arrows, will penetrate steel plate to a depth of 1/4 of an inch. In tests made on ancient armor, sparks flew when the bodkin made contact. The armor was pierced; the arrow continued on to penetrate 8 inches of wood” [Jones (1), P. 22].

3. На основании указания о силе лука в 75 фунтов невозможно судить о величине дульной энергии стрелы: она определяется как произведение силы натяжения на амплитуду натяжения на КПД данного лука. Однако два последних сомножителя остаются неизвестными. Дистанция стрельбы также не указывается. Значит невозможно судить о потерях энергии на сопротивление воздуха и совершенно неясно, какую энергию стрела имеет в момент встречи с целью.

4. Качество выделки стали, применявшейся для изготовления испытанных образцов доспехов, неизвестно²², однако абсолютные показатели толщины пробитых материалов представляются нам явно фантастическими – пробить 6 мм стали, а потом еще и 200 мм дерева под силу разве что пуле современного автомата, которая имеет энергию полторы–две тысячи джоулей, но никак не стреле лука, энергия которой теоретически не может превысить пары сотен джоулей (см. об этом главу 1 настоящего издания).

Несомненно, все тезисы, подобные вышеприведенным, нуждаются в строгой экспериментальной проверке в целях разработки гипотезы о фрикционном механизме пенетрации брони проникателями малых энергий.

6.6. Срезень – бронебойное оружие массовой армии?

Представляется вероятным, что фрикционная гипотеза пенетрации в случае ее развития может объяснить использование средневековыми воинами широких наконечников с притупленной кромкой в виде тупого треугольника или дуги сравнительно большого радиуса – так называемых *срезней*. В предыдущих работах мы отмечали особенность таких наконечников: при попадании в живую ткань они почти моментально тормозятся и отдают свою кинетическую энергию. Следовательно, если величина этой энергии сравнительно невелика (например, при натяжении лука не на полную амплитуду), то такие стрелы в соответствии с волей стрелка могут наносить небронированным индивидам (например, нонкомбатантам) лишь поверхностные ранения (нелетальные повреждения) и производить останавливающее действие. Однако же,

²² Современные средства индивидуальной бронезащиты используют пластины, как правило, толщиной до 6 мм. Считается, что они обеспечивают необходимую защиту от пуль индивидуального ручного автоматического оружия. Конечно, качество современных броневых материалов несравнимо со средневековыми. Но броню большей толщины солдат переносить не может, даже при условии его перевозки транспортными средствами. Поэтому весьма странным представляется поведение средневекового рыцаря, который носил (возил на лошади) толстую броню, пробиваемую стрелами навывлет. Зачем он вообще ее носил? Кроме того, П. Джонс [Jones (1)], изучивший для своих экспериментов массив данных о доспехах отмечает, что наибольшая толщина материала (3 мм) была встречена им на шлемах. Мы должны отдавать себе отчет в том, что доспех воина это не бортовая броня корабля, и прочность доспеха обеспечивается не только и не столько его толщиной, а рациональной формой, которая противостоит воздействиям, подобно скорлупе яйца, и к тому же специально разрабатывается для максимального рикошета.

такие наконечники повсеместно распространены в колчаных наборах там, где они сочетаются с находками металлического защитного вооружения (например, в воинских захоронениях Восточной Сибири), и где с большой долей вероятности можно предположить необходимость применения этими захороненными воинами адекватных средств поражения против бронированных целей (т.е. таких же воинов). Однако в настоящее время в отечественной литературе отчего-то повсеместно бытует мнение о том, что срезни использовались исключительно против небронированных целей. Мнение это основано на свидетельствах некоторых средневековых авторов (например, Плано Карпини и т.п.) о том, что для поражения незащищенного противника (например, монголы) использовали стрелы с широкими наконечниками. Вместе с тем, срезни представляют собой, пожалуй, наиболее характерный тип наконечника с черешковым насадом, который, как мы видели, является необходимой чертой устройства бронебойного метательного снаряда.

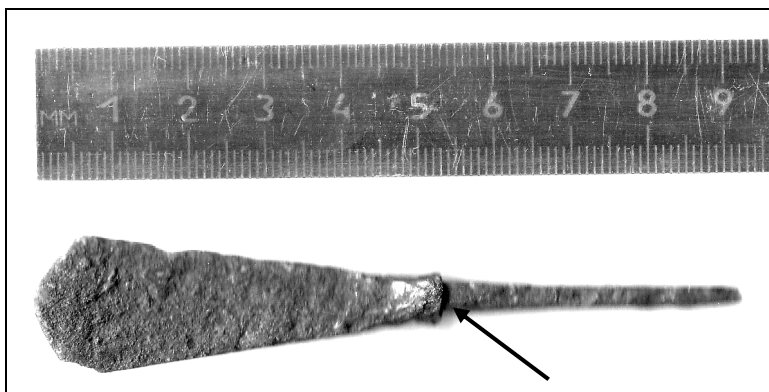


Рис. 6.5. Наконечник стрелы – срезень. Кончик черешка обломлен. Стрелкой показан черешковый упор

Именно черешок воспринимает изгибающее напряжение в месте насада и распространяет изгибающее напряжение на всю глубину своего закрепления в древке. А глубина эта весьма значительна, и во многих случаях она близка к длине рабочей части наконечника, в то время, как глубина втулки в наконечнике по определению всегда меньше длины рабочей части, а ее диаметр меньше диаметра древка. Кроме того, срезень, в отличие от шиловидного наконечника, расширяется в головной части. Следовательно, в момент удара бóльшая масса снаряда находится у поверхности цели. Значит, при прочих равных условиях стрела с наконечником-срезнем испытывает и меньшие изгибающие напряжения; менее вероятен облом ее наконечника, и бóльшая масса стрелы участвует в пробитии преграды.

В отечественной литературе принято называть срезнями чуть ли не все наконечники с расширяющейся рабочей частью, которая имеет либо притупленный, либо вогнутый профиль (обратную стреловидность). Однако, на наш взгляд, эти устройства имеют различное назначение, и их все-таки следует разводить в два разных класса: если срезень с притупленной кромкой может быть рассчитан преимущественно на нанесение поверхностных поврежде-

ний, то экземпляры с обратной стреловидностью или двурогие вполне соответствуют назначению проникающих или бронебойных. Поясним этот тезис.

Исследователи-оружиеведы прошлого приводят изображение Y-образных наконечников арбалетных болтов [Бехайм, С. 304–305; Рис. 491-с,d], указывая, что они “были популярны благодаря своему эффективному воздействию при охоте на серн”, а также применялись при охоте на крупную дичь (рис. 6.6). Конечно же, если с некоторой долей цинизма считать незащищенного броней человека “крупной дичью”, то такое указание находится в рамках общепринятой на сегодня концепции. Однако материалы средневековых оружейных собраний [Бехайм, С. 395, Рис. 603] дают нам образцы наконечников (правда, это наконечники турнирных копий – рис. 6.7), которые использовались исключительно для воздействия на бронированные цели.

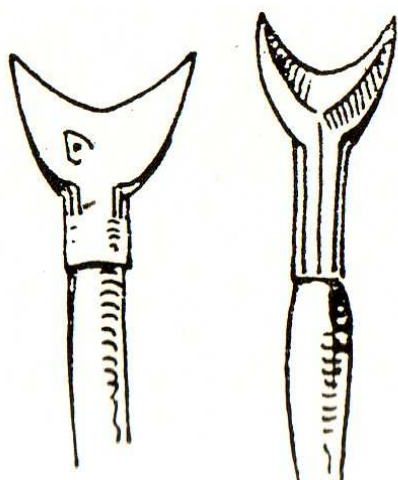


Рис. 6.6. Y-образный наконечник стрелы



Рис. 6.7. Наконечник турнирного копья

Здесь мы видим три заостренных ударника-рога. Если создатели копий имели своей целью уменьшение пробивной способности снарядов в целях предотвращения травматизма, то они снабдили бы их наконечниками по типу тех гуманизаторов, которые хорошо известны участникам современных ролевых игр. К тому же, другие копья, применявшиеся в тех же условиях, имеют лишь по одному острию. Поэтому логично считать, что описанная форма применялась в целях уменьшения скольжения наконечника по броне (рикошета). В самом деле: при фронтальном ударе все три рога стремятся разъехаться в разные стороны и наконечник остается неподвижен (равнодействующая векторов движения равна нулю), а при косом ударе (при отклонении от нормали) велика вероятность того, что хоть один из рогов будет направлен по нормали (то есть по перпендикуляру) к поверхности цели²³.

²³ Напомним, что в условиях турнира броня хотя и пробивалась иногда, но участники не преследовали такой цели: сила воздействия на броню была ограничена пределом прочности древка оружия, для которого применялись непрочные сорта дерева.

Интересные данные о назначении Y-образных срезней может дать их металлографический анализ. Например, Ю.Ю. Моргунов описывает обнаруженный им “двурогий срезень с упором”, который “отличался особым качеством исполнения”. “Его основа была откована из сырцово-стали, а на режущий край с большим мастерством были наварены пластинки из высокоуглеродистой стали” [Моргунов, С. 143–145]. Логично полагать, что упрочнению путем наварки лезвия подверглась рабочая часть изделия, предназначенного для пробития брони²⁴. Как работает такой наконечник?

При фронтальном ударе в цель сразу двумя рогами рикошет маловероятен: острия стремятся “разъехаться” в противоположные стороны и снаряд “прилипает” к поверхности (рис. 6.8, *слева*). При отклонении от нормали в преграду ударяется один из рогов. Если при этом проекция центра тяжести стрелы на поверхность цели (показана стрелкой) близка к проекции продольной оси одного из рогов²⁵, то этот рог входит в цель по нормали (рис. 6.8, *в центре*). Если же снаряд налетает на цель со значительным отклонением от нормали и центр его тяжести не соосен вектору реакции (показан пунктирной стрелкой), то вероятен рикошет и удар по цели древком (рис. 6.8, *справа*).

Посмотрим на изображение упомянутого наконечника с наваренными рогами (рис. 6.9; [Моргунов, Рис. 71-3, С. 144]. Измерением на рисунке нетрудно установить, что угол раствора рогов близок 40° , то есть данный наконечник не рикошетит при углах встречи до 20° . Мы видели выше, по экспериментальным данным П. Джонса, именно такое отклонение от нормали для бронебойного наконечника является критической величиной; отклонение на 20° препятствует пенетрации брони в 2 мм, в случае пробития тонкой брони то же отклонение приводит к значительному уменьшению величины проникновения в заброневое пространство²⁶.

К сожалению, точный масштаб изображения наконечника из цитируемой нами публикации Ю.Ю. Моргунова неизвестен, и можно лишь предполагать, что длина рогов данного наконечника соответствует потенциальной глубине проникновения в заброневое пространство. Названный раскопщик не

²⁴ Правда, суждения самого автора раскопок насчет этого наконечника явно парадоксальны: “Большой проникающей способностью обладали двурогие срезни с упором, которые, судя по этнографическим параллелям с XI до XIV вв., иногда употреблялись и для стрельбы по водоплавающей птице” [С. 145]. Читатель остается в недоумении относительно назначения такой стрелы: зачем для стрельбы по птице нужна большая проникающая способность, и какими этнографическими источниками мог быть зафиксирован способ применения стрел в XI-XIV вв.? К слову, этнографические источники фиксировали у коренных народов Российского Севера, а также у Североамериканских индейцев применение тупой стрелы с деревянным утолщением или перекрестием на месте наконечника.

²⁵ По этой оси располагается вектор сопротивления материала цели.

²⁶ Напомним, что по данным опытов проникновение уменьшается примерно на одну пятую часть с 51 до 43 мм, что может сыграть решающую роль в плане поражения внутренних органов противника.

приводит и значения массы наконечника; информация об этом параметре в сочетании со знанием максимального угла отклонения вектора движения стрелы позволила бы сделать обоснованные предположения относительно координаты ее центра тяжести.

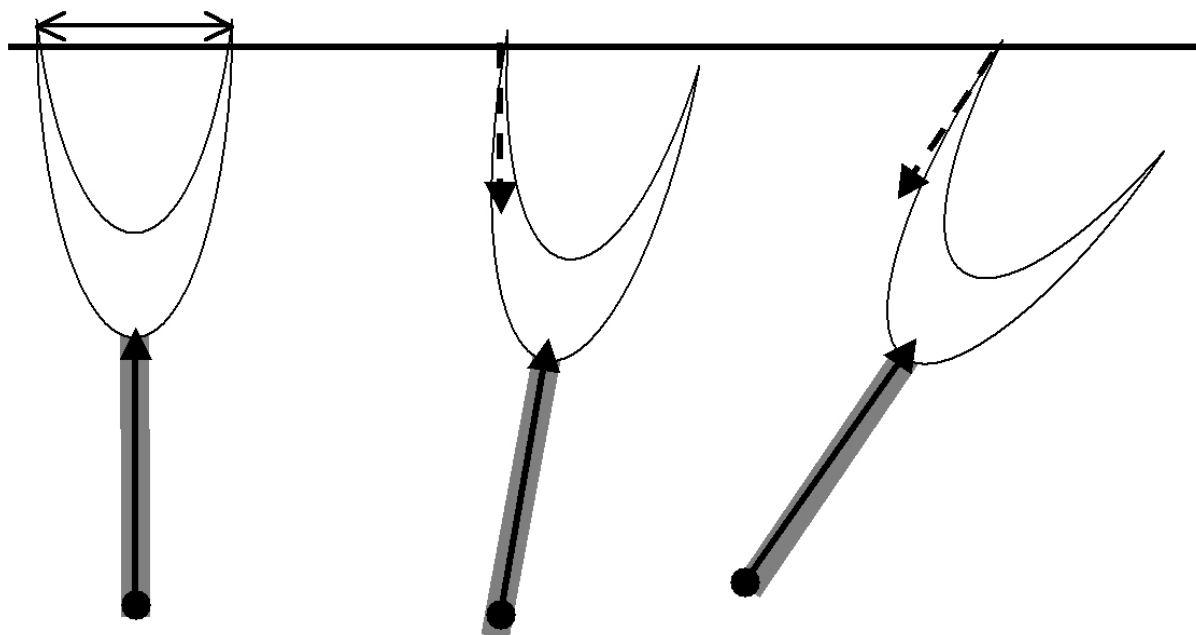


Рис. 6.8. Схема пенетрации Y-образным наконечником

Таким образом, на наш взгляд, всестороннее изучение высказанного предположения о броневой предназначении (в том числе двурогих) срезней может оказаться плодотворным.

Шиловидный наконечник представляет собой тело вращения и его сечение в любой из продольных плоскостей одинаково. Вместе с тем, срезень (в том числе и двурогий) в одной из продольных своих плоскостей дает то же сечение, что и шиловидный наконечник. Следовательно, если от нормального угла встречи отклонена та его плоскость, что имеет большее сечение (он падает “плоскостью на плоскость”), то в плане противодействия рикошету он работает так же, как и шиловидный наконечник, имея перед последним то преимущество, что его режущая кромка шире (либо прочность двух рогов больше), а значит при прочих равных условиях рабочий орган прочнее и менее подвержен деформации (смятию). Конечно, срезень, имеющий два разительно отличных сечения в своих продольных плоскостях, может упасть на цель и так, и эдак.



Рис. 6.9. Y-образный наконечник с наваренными рогами

Возможно, наше предположение о фрикционном механизме пенетрации металлического доспеха не найдет пока экспериментального подтверждения, и бронебойная функция срезня при падении его “ребром на плоскость” останется под сомнением. Однако способность к бронепробиванию при падении “острием на плоскость” представляется несомненной. На наш взгляд, лучник просто не знает какой из плоскостей продольного сечения его наконечник упадет на цель, и не может контролировать этот процесс (стрела может повернуться в полете). Таким образом, если считать, что срезень является бронебойным относительно только одной из перпендикулярных плоскостей продольного сечения, а вероятность падения на цель как “нужной”, так и “не-нужной” плоскостью равна, то для надежного поражения бронированной цели следует лишь увеличить расход посылаемых по ней снарядов. Кроме того, логично ожидать появления в боезапасе лучника и снарядов промежуточного облика, которые сочетают положительные качества как шиловидного наконечника, так и срезня. Такой наконечник широко известен по археологическим данным и описан в литературе под названием лавролистного или листовидного (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Пенетрация различными видами наконечников

Тип наконечника	Вероятность рикошета от брони по нормали	Вероятность рикошета при отклонении от нормали
Шиловидный, Р	Относительно низкая	Высокая при смятии носика
Срезень, Н	Зависит от угла встречи?	Зависит от угла встречи?
Двурогий, У	Относительно низкая	До 20° относительно низкая
Листовидный, Р	Средняя в любой плоскости	Средняя в любой плоскости

Мы рассматриваем здесь лишь экстремы возможного сценария соударения: снаряд либо пробивает броню, либо полностью рикошетирует от нее.

В том случае, если пробитие брони достигнуто, плоский наконечник (в нашем случае это срезень или листовидный) образует в ней узкое отверстие, длина которого намного превышает диаметр древка стрелы. При этом длина рабочей (проникающей) части наконечника может оказаться недостаточной для поражения внутренних органов противника (см., например, экземпляр на рис. 6.5). Но если энергия снаряда не исчерпана и его движение в броне продолжается (например, при фронтальном ударе), то черешковый упор, выполненный в виде своеобразной шайбы (показан стрелкой), раздвигает прямые и длинные кромки отверстия, ослабленные разрывом, они легко отгибаются и сам упор, а за ним и древко стрелы входят вовнутрь. При дальнейшем движении древко соприкасается со стенками отверстия всего в двух точках и его затирание минимально. В то же самое время, шиловидный наконечник и его древко находятся в условиях кругового обжатия броней и испытывают постоянное сопротивление трения аналогично тому, что испытывает подкалиберный снаряд противотанковой пушки. Далее необходимо отметить, что в

сравнении с другими наконечниками, вследствие сосредоточенности массы на кончике срезня, последний (при прочих равных условиях) даже при обламывании древка заносит в заброневое пространство наибольшую энергию (определяемую как произведение массы на глубину проникновения в тело). Логично считать, что он производит при этом максимальное останавливающее действие (табл. 6.2). А кроме того, задние кромки рабочей части срезня, вследствие своей обратной стреловидности и в силу схлопывания раневого канала играют в теле жертвы роль невозвратных шипов.

Таблица 6.2. Поражение различными видами наконечников

Тип наконечника	Возможность проникновения в пробитое отверстие доспеха	Возможность нелетальных ран (по цели без брони)
Шиловидный	Высокая	Нет
Срезень	Зависит от угла встречи	Есть
Двурогий	Ограничена длиной рога	Есть
Листовидный	Средняя в любой плоскости	???

Выводы

Мы рассмотрели свидетельства средневековых авторов относительно удобства поражения тех или иных целей (или поверхностей) теми или иными стрелами. Однако, принимая во внимание тактику применения луков в составе войсковых контингентов численностью в сотни и тысячи человек при эшелонированных боевых порядках при высокой плотности огня, считаем возможным утверждать, что слова средневековых авторов следует оценивать в качестве указаний на **вероятность** поражения той или иной цели тем или иным наконечником. Знание того, что тот или иной наконечник хорошо подходит для пробития, к примеру, стальных шлемов мало что дает конкретному солдату: во первых в бою, при беглом или залповом огне в составе роты по плотным боевым порядкам противника, при стрельбе с ходу или с лошади у солдата не бывает индивидуальной цели – цель его групповая, и прицеливаться в конкретный шлем он не может, а копаться в колчане, выбирая нужную стрелу, ему некогда (даже если он помнит, что нужная стрела у него есть). Во-вторых, вопросы боепитания всякого воинского подразделения решает его командир в соответствии с тактическими задачами предстоящего боя. Следовательно, если известно пред боем, что противник бронирован (известна степень защищенности и количество бронированных целей), то командир соответственно увеличивает долю бронебойных снарядов в боезапасе своих воинов, повышая, таким образом, действенность их огня. И здесь, на наш взгляд, можно говорить о прямой аналогии с соответствующими принципами планирования современного танкового боя. Кроме того, мы знаем, что носимый боезапас лучника включал в себя десятки стрел. Логично считать, что это были стрелы разного назначения, а точнее стрелы, дающие раз-

личную вероятность поражения бронезащиты и открытых частей тела воинов и лошадей, для случаев прямого или косого удара по броне, для случаев попадания в щиты или кирасы и т.п. Иными словами, вероятность поражения цели увеличивалась за счет ее обстрела множеством различных снарядов. Можно ли здесь обсуждать абсолютные числа? Средневековые европейские теоретики военного дела рекомендовали иметь в войске от двух-трех до девяти лучников на одного тяжеловооруженного (бронированного) всадника [Hardy, P. 121]. Данные о составе средневековых европейских армий, основанные на ведомостях выдачи денежного довольствия, свидетельствуют, что на одного рыцаря на практике приходилось не менее двух-трех лучников [Hardy, P. 59, 79]²⁷. Из хозяйственных документов тех лет известно, что для снабжения армии, численность которой составляла десятки тысяч человек, количество поставляемых стрел в рамках одной военной кампании измерялось миллионами [Hardy, P. 83], а в армейских интендантских запасах количество луков и стрел доходило до соотношения 1 к 96 [Hardy, P. 85].

Таким образом, можно считать, что максимальный расход боеприпасов на поражение одного рыцаря в пределах одного боя теоретически мог иметь порядок сотен стрел. Очевидно, что в этой массе стрел могли быть стрелы разного типа, и сочетание уязвимой поверхности с подходящей стрелой при достаточном угле встречи и необходимой энергии находилось в области теории вероятности. Вся эта туча разных стрел выпускалась в ассортименте одновременно с надеждой пробить если не шлем рыцаря, так нагрудник, а не нагрудник, так щит, а если ни то и не другое, так хотя бы изранить его лошадь. Аналогичную возможность в дуэльной ситуации имеет артиллерийский корабль: все его пушки могут вести сосредоточенный огонь по одной и той же цели, увеличивая вероятность ее поражения (если не поясной брони вражеского корабля, то его незащищенных надстроек и т.п.). Прибегая еще к одной аналогии из современного военного дела, напомним способ снаряжения лент скорострельных авиапулеметов: здесь пули разного назначения (бронепробивные–зажигательные–осколочные) чередуются между собой, чтобы повысить вероятность поражения самолета противника в случае попадания в него.

Конечно, то, о чем мы говорили, представляет собой пока лишь примитивную вербальную модель: в самом начале мы намеренно отошли от конкретных параметров цели, рассматривая механизм пробивания некоей абстрактной тонкой бронепластины. Мы должны отдавать себе отчет и в том, что в отличие от воина, защищенного фортификационными сооружениями, всякая самоходная цель на поле боя имеет участки, в принципе неподдающиеся бронированию (аналогичные движителю и ходовой части), в свою очередь, броня имеет уязвимые места в точках крепления, а сами бронированные поверхности – заманы

²⁷ Например, войско Эдуарда I во время вторжения в Шотландию в 1298 г. состояло из более чем 10000 пеших лучников, причем три лучника приходились на одного конного воина [DeVries, P. 37].

для снарядов. Кроме того, бронепластины могли быть нашиваемы на внутреннюю поверхность одежды, да и само защитное вооружение во многих случаях не было металлическим, даже в условиях развитого металлургического производства и металлообработки – достаточно вспомнить льняные панцири античности, хлопчатобумажные доспехи китайских воинов, кожи и шкуры германцев и скандинавов²⁸. То есть, реальные условия пробития брони и рикошета с поверхностей имеют много вариантов. Тем не менее, считаем предложенный материал первым шагом на пути создания теории бронепробивания малых энергий. Движение в этом направлении поможет понять логику развития вооружений; видимо, сплошные доспехи появились для увеличения рикошета, а огнестрельное оружие, в свою очередь, завоевало свои позиции потому, что пуля самого посредственного мушкета летела быстрее стрелы и при любых углах встречи не рикошетила от самого блестящего доспеха?

Хочется верить, что намеченное нами направление позволит преодолеть профессиональную инкапсуляцию историков и баллистиков и вызовет дискуссию специалистов различных областей знания.

²⁸ Интересна точка зрения Якова I Английского на вес доспеха, как лимитирующий фактор его развития. Король полагал, что тяжеловооруженный рыцарь (видимо, в случае падения с седла или неадекватного поведения лошади) представляет опасность для собственных пехотинцев: “Armor was an admirable invention, for while it protected the wearer from being hurt, it effectually prevented, but it’s weight, the wearer causing injury to others” (Цит по: [Hurley, P. 22]). Кроме того, на наш взгляд, пехота в окружении рыцаря, на котором сосредоточили огонь лучники противника, подвергается повышенной вероятности поражения как теми стрелами, которые не попали в рыцаря, так и теми, что рикошетировали от него.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
1.1. Зачем и как изучать действие снаряда по цели на основе археологических данных	3
1.2. Поражающие факторы стрелы	5
1.3. Примеры раневой баллистики по данным археологии.....	9
2. Общие сведения по аэробаллистической проблематике.....	18
2.1. Основная задача внешней баллистики стрелы.....	18
2.2. Обязательные допущения внешней баллистики	21
2.3. Величина силы лобового сопротивления	24
2.4. Закон силы лобового сопротивления для стрел	32
2.5. Постановка задач для эксперимента	44
3. Реконструкция параметров стрел расчетными методами.....	47
3.1. Описание ситуации	47
3.2. Слагаемые силы лобового сопротивления стрел	48
3.3. Оценка параметров стрелы через параметры наконечника	50
3.4. Длина стрелы и исследовательские подходы к реконструкции лука.....	59
3.5. Баллистическая реконструкция стрел	64
4. Принципы и возможности реляционной базы данных о стрелах	71
4.1. Ограниченность типологии А.Ф. Медведева и ее клонов.....	71
4.2. Архитектура и принципы построения базы данных.....	75
4.3. Новые возможности с использованием реляционной базы	79
4.4. Демонстрация математического метода исследования	84
5. Стрела из могильника Пыштайн.....	92
5.1. Натурная реконструкция и типологизирование наконечника	92
5.2. Реконструкция стрелы в сборе.....	100
6. Бронебойные проникающие малых энергий	104
6.1. Некоторые концептуальные аналоги	105
6.2. О научном подходе к моделированию бронепробития	110
6.3. Краткий перечень энергозатрат стрелы	111
6.4. Механизм пенетрации и типология стрел.....	112
6.5. Фрикционная гипотеза пенетрации и ассортимент наконечников	116
6.6. Срезень – бронебойное оружие массовой армии?	122
Заключение	131
Литература	133

Научное издание

Коробейников Алексей Владимирович
Митюков Николай Витальевич

Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область

Верстка *Н.В. Митюкова*
Корректор *С.А. Перевозчикова*

Подписано в печать 23.12.2006. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать на ризографе. Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 7,13.
Тираж 300 экз. Заказ № 304.

Редакционно-издательский отдел
Камского института гуманитарных и инженерных технологий
426057, г. Ижевск, ул. Советская, 13.