**Арбалет**

Вернард Фоли, Джордж Палмер, Вернер Содэл

Это грозное оружие, изобретенное 2400 лет назад, было широко распространено в XI в. На протяжении 500 лет, пока не появилось огнестрельное оружие, в целях защиты использовались преимущественно арбалеты

НАЧИНАЯ с XI в. на протяжении 500 лет арбалет был грозным боевым оружием. Его использовали в основном для защиты различных объектов, например замков и кораблей. Кроме того, арбалет сыграл значительную роль в познании свойств различных материалов (поскольку при его изготовлении приходилось учитывать действие многих сил) и законов движения в воздушной среде (ведь стрела арбалета должна была обладать определенными летными качествами). К изучению принципов, лежащих в основе стрельбы из арбалета, не раз обращался Леонардо да Винчи.

Мастера, изготовлявшие луки, арбалеты и стрелы, не знали математики и законов механики. Тем не менее проведенные в Университете Пардю испытания образцов старых стрел показали, что этим умельцам удалось достичь высоких аэродинамических качеств.

С виду арбалет не кажется сложным. Его дуга, как правило, укреплялась впереди, поперек деревянного или металлического станка – ложи. Специальное приспособление удерживало натянутую до отказа тетиву и отпускало ее. Направление полета короткой арбалетной стрелы задавалось либо желобом, вырезанным наверху ложи, в который закладывалась стрела, либо двумя упорами, закреплявшими ее спереди и сзади. Если дуга была очень упругой, то для ее натягивания на ложе устанавливалось специальное устройство; иногда оно было съемным и его носили вместе с арбалетом.

Конструкция арбалета имеет два преимущества по сравнению с обычным луком. Во-первых, арбалет дальше стреляет, и вооруженный им стрелок в поединке с лучником остается недосягаемым для противника. Во-вторых, конструкция ложи, прицела и спускового механизма во многом облегчала обращение с оружием; оно не требовало от стрелка особой подготовки. Зацепные зубья, которые удерживали и отпускали натянутую тетиву и стрелу, являются одной из ранних попыток механизировать некоторые функции человеческой руки.

Единственно, в чем арбалет уступал луку, – это в скорости стрельбы. Поэтому использовать его в качестве боевого оружия можно было только при наличии щита, за которым воин укрывался во время перезарядки. Именно по этой причине арбалет в основном был распространенным видом вооружения крепостных гарнизонов, осадных отрядов и судовых команд.

АРБАЛЕТ был изобретен задолго до того, как получил широкое распространение. Относительно изобретения этого оружия существуют две версии. По одной считается, что впервые арбалет появился в Греции, по другой – в Китае. Примерно в 400 г. до н. э. греки изобрели метательную машину (катапульту) для метания камней и стрел. Ее появление объяснялось стремлением создать оружие более мощное, чем лук. Первоначально некоторые катапульты, по принципу действия напоминающие арбалет, по-видимому, не превосходили его по размерам.

В пользу версии о происхождении арбалета в Китае говорят археологические находки спусковых механизмов из бронзы, датируемые 200 г. до н. э. Хотя факты, свидетельствующие о первом появлении арбалета в Греции, являются более ранними, письменные китайские источники упоминают об использовании этого оружия в сражениях в 341 г. до н. э. Согласно другим данным, достоверность которых установить сложнее, арбалет был известен в Китае еще на одно столетие раньше.

Археологические находки говорят о том, что арбалет в Европе применялся на протяжении всего периода от античной эпохи до XI-XVI вв., когда он стал наиболее распространенным. Можно предположить, что повсеместному его использованию до XI в. препятствовали два обстоятельства. Одно из них заключается в том, что вооружение войска арбалетами обходилось значительно дороже, чем луками. Другая причина – малое количество замков в тот период; исторически важную роль замки стали играть лишь после завоевания Англии нормандцами (1066 г.).

С повышением роли замков арбалет стал незаменимым оружием, используемым в феодальных распрях, которые не обходились без яростных схваток. Фортификационные сооружения в до-нормандский период обычно были очень простыми и служили главным образом убежищами для живших поблизости людей. Поэтому за крепостными стенами необходимо было держать оружие, чтобы отражать нападения завоевателей. Нормандцы осуществляли власть на завоеванных территориях с помощью небольших тяжеловооруженных военных отрядов. Замки служили им для укрытия от коренных жителей и отражения нападений других вооруженных отрядов. Дальность стрельбы из арбалета способствовала надежной защите этих убежищ.

В течение столетий после появления первых арбалетов неоднократно предпринимались попытки усовершенствовать это оружие. Один из способов, возможно, был заимствован у арабов. Арабские ручные луки относились к тому типу, который назывался составным, или сложным. Их конструкция полностью соответствует этому названию, поскольку они изготовлялись из различных материалов. Составной лук обладает явными преимуществами по сравнению с луком, сделанным из одного куска дерева, поскольку последний имеет ограниченную упругость, определяемую природными свойствами материала. Когда лучник натягивает тетиву, дуга лука с внешней (от лучника) стороны испытывает натяжение, а с внутренней – сжатие. При чрезмерном натяжении древесные волокна дуги начинают деформироваться и на внутренней ее стороне появляются постоянные "морщины". Обычно лук держали в согнутом состоянии, и превышение некоторого предельного натяжения могло вызвать его поломку.

В составном луке к внешней поверхности дуги крепится материал, способный выносить большее натяжение, чем дерево. Этот дополнительный слой принимает на себя нагрузку и уменьшает деформацию древесных волокон. Чаше всего в качестве такого материала использовали сухожилия животных, особенно ligamentum nuchae – большой эластичный узел, проходящий вдоль позвоночника и над плечами у большинства млекопитающих. Испытания показали, что такой материал, если он правильно обработан, выдерживает натяжение до 20 кг / кв. мм. Это примерно в четыре раза больше, чем может выдержать самое подходящее дерево.

Для внутренней стороны лука использовали материал, работающий на сжатие лучше, чем дерево. Турки для этих целей использовали бычий рог, допустимое усилие сжатия которого около 13 кг / кв. мм. (Дерево выдерживает сжимающие нагрузки в четыре раза меньше.) О необычайно высокой осведомленности лучных дел мастеров о свойствах различных материалов можно судить и по тому, какие клеи они использовали при изготовлении луков. Самым лучшим считался клей, приготовленный из неба волжского осетра. Разнообразие необычных материалов, применявшихся в лучном деле, говорит о том, что многие конструктивные решения достигались опытным путем.

АРБАЛЕТЫ с составными дугами были распространены в средние века, включая эпоху Возрождения. Они были легче арбалетов со стальной дугой, которые начали изготовлять в начале XV в.; при одинаковом натяжении тетивы они стреляли дальше и были более надежными. Действие составных дуг интересовало Леонардо да Винчи. Его рукописи свидетельствуют о том, что с их помощью он изучал поведение различных материалов под нагрузкой.

Появление стальной дуги в средние века было зенитом в развитии конструкции арбалета. По своим параметрам он мог бы уступить только арбалету, изготовленному из стеклопластика и других современных материалов. Стальные дуги обладали такой гибкостью, какую прежде не мог обеспечить ни один из органических материалов. Спортсмен викторианской эпохи Ральф Пейне-Гэллви, написавший трактат об арбалете, провел испытания большого военного арбалета, натяжение тетивы которого равнялось 550 кг, посылавшего 85-граммовую стрелу на расстояние 420 м. Э. Хармут, специалист по истории арбалета, утверждает, что существовали дуги с натяжением в два раза большим. Однако в средние века наиболее распространенными были арбалеты с натяжением менее 45 кг. Даже специальными облегченными стрелами они стреляли не далее 275 м.

С достижением более высоких натяжений стальные дуги перестали выигрывать в эффективности. Увеличение массы дуги ограничивало ее способность сообщать стреле большее ускорение. Из-за трудностей получения стальных слитков большого размера арбалетные дуги, как правило, сплавляли из многих кусков металла. Каждое место сплавления понижало надежность арбалета: в любой момент дуга в этом месте могла сломаться.

Более мощные арбалеты требовали надежных спусковых механизмов. Следует отметить, что спусковые механизмы, использовавшиеся европейцами и обычно состоявшие из поворачивающегося зуба и простого рычажного спуска, уступали китайским, которые имели промежуточный рычажок, позволявший производить выстрел коротким и легким нажатием на спусковой рычаг. В начале XVI в. в Германии начали использовать многорычажные спусковые механизмы более совершенной конструкции. Интересно, что несколько раньше Леонардо да Винчи придумал такую же конструкцию спускового механизма и расчетным путем доказал ее преимущества.

АРБАЛЕТНАЯ стрела также видоизменялась с течением времени. Перед тем как проследить его эволюцию, рассмотрим силы, действующие на стрелу лука. При стрельбе из обычного лука стрела в момент прицеливания должна быть расположена между центром груди лучника и пальцами его вытянутой руки. Относительное расположение этих двух точек определяет направление полета стрелы после отпускания тетивы.

Силы, действующие на стрелу в момент ее отпускания, однако, не совсем совпадают с линией прицела. Отпущенная тетива толкает торец стрелы по направлению к центру лука, а не в сторону. Следовательно, чтобы стрела не отклонялась от заданного направления, она должна слегка прогнуться в момент пуска.

Требуемая гибкость стрелы для традиционного лука налагает ограничение на количество сообщаемой ей энергии. Например, было установлено, что стрела, предназначенная для лука с натяжением до 9 кг, при стрельбе ею из арбалета с натяжением 38 кг может изогнуться так сильно, что ее древко переломится.

В связи с этим в античную эпоху, когда стали использоваться арбалеты и катапульты, были придуманы стрелы новой конструкции. Благодаря тому что поверхность ложи арбалета обеспечивала совпадение направления движения тетивы с первоначальным направлением полета стрелы, а специальное направляющее устройство позволяло без помощи рук удерживать ее в определенном положении, стало возможным делать арбалетные стрелы более короткими и менее упругими. Это в свою очередь облегчило их хранение и ношение.

О конструкции стрел, появившихся в то время, можно судить по двум дошедшим до наших дней основным типам. Стрела одного типа в два раза короче обычной, лучной стрелы. Она резко расширяется к заднему концу и имеет несколько лопаток, или оперение, которые слишком малы, чтобы стабилизировать стрелу в полете. Торцевая часть стрелы захватывается зацепными зубьями.

Стрелы другого типа не имеют лопаток. Их металлическая передняя часть составляет треть их длины, а деревянное древко сокращено до минимума. Эти стрелы также имеют расширяющуюся к хвостовой части форму. Общая их длина менее 15 см.

Конструктивные особенности этих стрел говорят о том, что мастерам Древнего Рима, которые первыми изобрели их, были знакомы летные качества тел различной формы. Сегодня нам понятно, что оперение, которое предотвращает вращение стрелы в полете, является основной причиной ее торможения. Уменьшение его размеров позволило бы увеличить дальность полета стрелы при условии, что она не поворачивается в сторону, что еще больше затормозило бы ее полет. Этого можно избежать, заострив древко, т. е. сделав его в передней части уже, чем в задней. Если стрела с таким древком начнет поворачивать в сторону, то давление воздуха на более широкую заднюю часть будет выше, чем на переднюю; за счет этого направление полета стрелы выравнивается.

Можно также предположить, что древко имеет центр давления (точка равновесия всех действующих на него аэродинамических сил), расположенный за центром тяжести. На цилиндрической стреле без оперения эта точка будет находиться примерно посередине древка. У расширяющейся стрелы центр давления смещается к задней части. Поскольку центр давления расположен за центром тяжести, устойчивость стрелы с расширяющимся древком выше, чем с цилиндрическим, а за счет отсутствия оперения ее лобовое сопротивление меньше. Расширяющееся древко способствует также более равномерному распределению давления воздушной массы на его поверхность. Используя терминологию современной аэродинамики, можно сказать, что пограничный слой менее подвержен разрушению. Уменьшение длины стрелы также улучшает ее летные качества, поскольку с увеличением длины турбулентность воздушного потока, параллельного цилиндрической поверхности, увеличивается, поглощая большую энергию.

ДРУГИМ фактором, от которого зависит эффективность стрельбы стрелами с расширяющимся древком, является конструкция оперения. Для удержания болта захватывающими зубьями спускового механизма в его оперении делалась специальная выемка. Как и расширяющаяся форма древка, наличие выемки способствует более равномерному обтеканию стрелы воздухом, уменьшению энергопоглощающей турбулентности позади нее.

В раннее средневековье мастерам, изготовлявшим луки и арбалеты, не были знакомы законы движения воздуха и силы, возникающие на поверхности тел при их движении в воздушной среде. Такие понятия, как воздушный поток и лобовое сопротивление, появились только во времена Леонардо да Винчи. Нет сомнения, что арбалетные стрелы были созданы главным образом методом проб и ошибок. Вероятно, их создатели руководствовались стремлением достичь максимальной дальности полета и наибольшей силы удара.

Тем не менее конструкция арбалетных стрел отличается совершенством. Испытания в аэродинамической трубе, проведенные нами в лаборатории аэродинамических исследований Университета Пардю, подтверждают это. Испытаны были обычная стрела для боевого лука, какими пользовались в средние века, относящаяся к тому же периоду арбалетная стрела и два типа стрел для катапульты. Полученные результаты следует интерпретировать с некоторой осторожностью, так как размеры исследуемых объектов, особенно самого малого, приближались к порогу чувствительности измерительной аппаратуры. Но даже при этих предельных условиях эксперимента удалось получить весьма интересные данные. Во-первых, самая маленькая стрела, которая целиком сохранилась, если не считать небольших повреждений в оперении, судя по полученным данным стабильно сохраняла свое положение при всех допустимых углах полета.

Во-вторых, сравнительный анализ отношений лобового сопротивления к массе для всех четырех типов стрел показал, что стрела для лука значительно уступала по своим летным качествам трем остальным. Массу стрелы можно рассматривать как меру ее способности сохранять кинетическую энергию. Если бы все эти стрелы были запущены с одной и той же скоростью, то масса каждой из них определяла бы запас энергии стрелы в начальный момент. Скорость расходования энергии зависит от лобового сопротивления. Малое значение отношения лобового сопротивления к массе означает вероятность того, что дальность полета стрелы будет большой.

У стрелы для лука это отношение примерно в два раза больше, чем у арбалетных стрел. Можно допустить, что если бы средневековым и более ранним мастерам в создании стрел для лука удалось преодолеть конструктивные ограничения, то они могли бы разработать более оптимальную конструкцию. Существующая же конструкция стрелы настолько хорошо соответствовала имеющимся в то время материалам, что ее геометрия не совершенствовалась на протяжении того периода, пока лук считался основным оружием.

ВСЕ ЭТИ усовершенствования диктовались острой потребностью в арбалетах. Часто в мирное время на территории замков размещались гарнизоны, состоящие в основном из стрелков, вооруженных арбалетами. На хорошо защищенных аванпостах, таких, как английский порт Кале (на северном побережье Франции), в запасе находилось 53 тыс. арбалетных стрел. Владельцы этих замков обычно закупали стрелы большими партиями – по 10-20 тыс. штук. Подсчитано, что за 70 лет с 1223 по 1293 г. одна семья на территории Англии изготовила 1 млн. арбалетных стрел.

На основании этих фактов можно сказать, что начало массовому производству было положено задолго до промышленной революции. Подтверждением этому может служить использовавшееся в то время простое приспособление из двух скрепляемых деревянных брусков, образующих нечто похожее на тиски: в имеющиеся в деревянных брусках углубления вставлялась заготовка стрелы для последующей обработки. Для изготовления лопаток оперения использовались металлические пластины с пазами, в которые вставлялись заготовки. Такое приспособление давало возможность получить нужные размеры и симметричную форму лопаток.

Другое устройство – строгальная машина, которая, вероятно, предназначалась как для обточки древка стрелы, так и для прорезания пазов, в которые вставлялись лопатки оперения. Стержни из деревянных заготовок небольшого диаметра было нелегко изготовить на примитивных токарных станках того времени, так как при обработке режущим инструментом заготовки изгибались. В строгальной машине режущий инструмент из металла закреплялся в деревянном бруске с двумя зажимами на противоположных сторонах. Брусок передвигался вдоль зажимного устройства, которое прочно удерживало заготовку стрелы. Режущий инструмент снимал стружку до тех пор, пока брусок не доходил до поверхности зажимного устройства. Таким образом достигался автоматический контроль толщины срезаемого слоя и направления резания. В результате стрелы получались почти одинакового размера.

НА СМЕНУ арбалету пришло огнестрельное оружие. Популярность древнего арбалета стала падать. Однако им еще продолжали пользоваться в морских сражениях. Причина заключалась в том, что арбалет не имел запала, и для стрелка он был безопасным в отличие от огнестрельного оружия, которое в первое время нередко поражало самого стрелка. Кроме того, фальшборт на судне служил хорошим прикрытием, за которым можно было спокойно перезаряжать арбалет. Более тяжелые арбалеты продолжали использовать в китобойном промысле. Огнестрельное оружие постепенно вытеснило арбалет и в охоте на суше. Исключение составляли арбалеты, которые стреляли камнями или пулями. Этот вид оружия в охоте на мелкую дичь применяли вплоть до XIX в. То, что эти арбалеты, стрелявшие дробью или пулями, имели много общего с огнестрельным оружием, свидетельствует о взаимном влиянии двух видов вооружения в процессе их эволюции. Такие элементы огнестрельного оружия, как ложа, спусковой крючок, требующий слабого нажатия, и прицельное приспособление, были заимствованы у арбалетов, и в первую очередь у спортивных. Такие арбалеты и сейчас еще не вышли из употребления.

Появление в XX в. стекловолоконных материалов привело к созданию составных арбалетов нового поколения. Стеклянные волокна по своим свойствам не уступают натуральным жилам, а их клеточная структура так же прочна, как бычий рог. Хотя в возрождении лучной стрельбы арбалет еще во многом отстает по своей популярности от лука, у него тоже есть немало приверженцев. Современный стрелок из арбалета имеет в своем распоряжении "оружие" намного более совершенное по сравнению с тем, каким оно было в средние века.

АНГЛИЙСКИЙ АРБАЛЕТ. На его деревянной ложе указана дата изготовления – 1617 г. Пластина из слоновой кости с инкрустацией говорит о том, что этот арбалет был охотничьим; военный арбалет вряд ли имел бы такую художественную отделку. Для натяжения тетивы арбалета требовалось усилие, превышающее сто килограммов, поэтому арбалетчик использовал специальный механизм с зубчатой передачей. В ложе арбалета имеется гнездо, которое, вероятно, предназначалось для этого механизма. Тетива показана в натянутом состоянии. В таком положении она удерживалась зацепными зубьями, которые отпускали ее при нажатии на спусковой крючок, располагавшийся снизу ложи. Выпущенная из арбалета короткая стрела длиной 30,5 см пролетала расстояние около 400 м. Дуга арбалета крепилась к ложе с помощью кольца и жгутовой обвязки. Рисунок сделан с арбалета из коллекции музея Военной академии США в Вест-Пойнте (шт. Нью-Йорк).

ТРИ АРБАЛЕТА изображены на картине итальянского художника XV в. Антонио дель Поллайоло "Св. Себастьян". Один стрелок целится из арбалета, два других натягивают тетиву, используя арбалетное "стремя", поскольку для натяжения тетивы требовалось большое усилие. Картина хранится в Национальной галерее в Лондоне.

ФРАНЦУЗСКИЙ БОЕВОЙ АРБАЛЕТ XIV в. и две стрелы к нему из коллекции музея Военной академии США в Вест-Пойнте (шт. Нью-Йорк). Натянуть тетиву такого арбалета вручную было невозможно, поэтому на заднем конце станка, или ложи, устанавливался ворот. Ложа имеет длину 101 см, ширина арбалетной дуги 107 см, длина стрел примерно 38 см.

АРБАЛЕТ состоит из изогнутой дуги, тетивы, зацепного зуба (за который цеплялась тетива) и спускового рычага. При нажатии на рычаг зуб отпускал тетиву, и стрела вылетала из арбалета. Упор фиксировал положение механизма натяжения, с помощью которого тетива отводилась назад. Конструкция механизма натяжения – один из ранних примеров использования зубчатой передачи.

ПАРАДОКС СТРЕЛКА частично объясняет, почему при стрельбе из арбалета использовали короткие стрелы. Парадокс демонстрируется для случая, когда стрелок использует стрелу от обычного лука. Во время прицеливания (1) стрела расположена по одну сторону лука. Линия прицела проходит вдоль стрелы. Однако, когда стрелок выпускает стрелу (2), сила, с которой тетива действует на нее, заставляет двигаться хвостовую часть стрелы к центру лука. Чтобы стрела сохранила свое направление на цель, она должна изогнуться в полете (3). На первых нескольких метрах полета стрела вибрирует, но в конце концов ее положение стабилизируется (4). Необходимость в гибкости лучной стрелы ограничивает количество энергии, которую можно ей сообщить. В отличие от нее арбалетная стрела должна быть более короткой и жесткой, поскольку арбалет сообщает ей значительную энергию. Такие стрелы обладали также лучшими аэродинамическими свойствами.

СПУСКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ арбалетов имели различную конструкцию. В Китае 2000 лет назад использовался механизм (a) с зубом для зацепления тетивы, который крепился на той же оси, что и спусковой крючок. Изогнутый промежуточный рычаг соединял обе детали, за счет чего спуск производился легким и коротким нажатием. Справа показано направление движения тетивы при спуске. На Западе спусковые механизмы впервые стали применяться в катапультах (b). В этих механизмах при отпускании тетивы зуб не опускался, а поднимался. В средневековой Европе самым распространенным был механизм со спусковым колесиком (c); его положение фиксировалось простым спусковым рычагом, который зацеплял за выемку внизу колесика. При нажатии на такой рычаг арбалет мог смещаться с прицельного положения. Со временем во всех конструкциях спусковых механизмов стал использоваться промежуточный рычаг, облегчавший спуск.

ТИПЫ СТРЕЛ для луков и арбалетов: обычная стрела для боевого длинного лука (a); использовавшаяся римлянами стрела (b) для катапульты, похожей на арбалет; типичная стрела для средневекового арбалета (c) и две разновидности стрел для катапульты другого римского образца меньшего размера (d). Под изображениями стрел приведен их вид со стороны хвостового оперения и вид со стороны острия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ в аэродинамической трубе пяти типов стрел, изображенных на верхнем рисунке. Испытания проводились при участии автора статьи в лаборатории аэрокосмических исследований Университета Пардю. В расчетах, выполненных У. Хикамом, принималось, что начальная скорость каждой стрелы составляла 80 м/с. Хотя такую скорость вряд ли имели стрелы для длинного лука, принятое значение было удобно для проведения сравнительного анализа.