

УДК 303.725.3+531.55/.56+623.561+930.85

С.А. Денисов, А.В. Коробейников, Н.В. Митюков

### БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С РЕПЛИКОЙ ЛУКА НАРОДА ХАНТЫ

*Приведены результаты баллистических экспериментов с репликой лука народа ханты. Серия внешнебаллистических экспериментов доказала правильность выбранных для расчета методик, а эксперименты по раневой баллистике – функциональность построенных реплик в качестве боевого и охотничьего оружия.*

Ключевые слова: баллистический эксперимент, хантыйский лук.

В ходе научных работ по теме «Стрела» [1] авторами был сформулирован исследовательский подход, в соответствии с которым все детерминанты явления стрельбы: стрелок, лук, стрела и цель – должны изучаться только в комплексе (рис. 1). Для реализации этой цели были разработаны специализированные пакеты программ «Osseus» [2], осуществляющих артефактную реконструкцию параметров стрел по их ископаемым остаткам (наконечникам), и программа «Archer» [3], с помощью которой можно проводить баллистическую экспертизу. Оба продукта были внедрены на практике, о чем имеются соответствующие акты о внедрении.



Рис. 1. Схема комплексной системы артефактной реконструкции

Между тем базы данных, положенные в их основу, были получены на основании анализа литературных и архивных источников, в связи с чем встала задача проверки получаемых выводов на практике. В Лаборатории по изучению традиционных систем жизнеобеспечения народов Севера была

построена реплика лука ханты [4] (рис. 2). Морфологическая достоверность изделия обеспечивалась за счёт соблюдения технологий, известных из этнографических источников: в частности, она создавалась на основе морфологических характеристик традиционного лука, хранящегося в Музее природы и человека д. Рускинская (Ханты-Мансийский АО, Тюменская обл.). Поэтому авторы приняли решение о постановке совместных баллистических экспериментов.

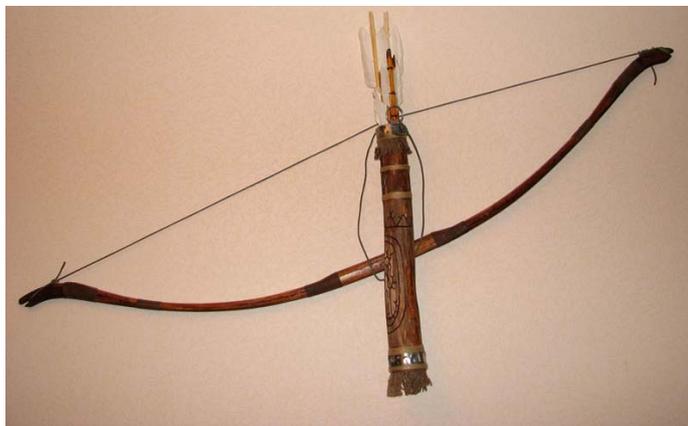


Рис. 2. Реплика лука и стрел ханты

#### Внешнебаллистические эксперименты

Ранее в наших работах [5] было отмечено, что скорость схода стрелы с тетивы можно определить по следующей зависимости:

$$v = \sqrt{\frac{A F_{\max} x_{\max}}{m}},$$

где  $F_{\max}$  и  $x_{\max}$  – максимальная сила натяжения и максимальный ход тетивы, а  $m$  – масса стрелы. Введенный в зависимость коэффициент  $A$  характеризует эффективность преобразования энергии упругой деформации лука и тетивы в кинетическую энергию стрелы. При этом  $A = 1$  в случае работы лука и тетивы в пределах закона Гука и  $A = 2$  для лука с максимально возможным КПД.

На основании анализа данных по современным лукам, а также с использованием выводов на основе общеизвестных уравнений механики авторы пришли к заключению, что для древних луков наиболее вероятное  $A \approx 1$ . И только для современных рекордных спортивных луков это значение приближается к двум. Между тем в работе Ю.А. Ведерникова и др. [6] предлагается без достаточных оснований наиболее вероятное для древних луков значение  $A = 2$ .

Поэтому задача более точной реконструкции параметров ископаемых луков определила программу внешнебаллистических экспериментов. Массовые показатели использованных для этого стрел незначительно варьировались в области 0,04 кг, а сила натяжения изготовленного лука  $F$  при изменении амплитуды  $x$  имела значения, приведенные в табл. 1. Для того чтобы уменьшить степень погрешности расчётов для данного лука, предварительно была снята зависимость силы натяжения от амплитуды. При снятии характеристики лук

был жестко зафиксирован в слесарных тисках; сила натяжения измерялась бытовыми весами, градуированными до 20 кг. Для подстановки в таблицу был произведен перерасчет результатов, исходя из того, что 1 кгс = 9,81 Н. Как видно, зависимость силы натяжения от амплитуды близка к линейной, т.е. предположение о зависимости в рамках закона Гука имеет основание.

Таблица 1

Числовые данные характеристики лука

$x$ , м	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
$F$ , Н	39,2	58,8	83,4	103,0	122,6	147,0	157,0

Непосредственно натурные стрельбы производились в зимнее время при температуре 0° на беговой дорожке стадиона, очищенной от снега, на которой была уложена мерная веревка. Во всех случаях угол встречи стрелы с мишенью, установленной вертикально, составлял 90°, а дистанция стрельбы – 3 м. Прогиб лука (расстояние от натянутой тетивы до рукоятки) составлял 0,31 м, амплитуда натяжения лука (ход тетивы) во всех случаях составляла 0,3 м.

В эксперименте участвовало три человека: первый производил выстрелы из лука, второй со стороны визуально контролировал горизонтальность стрелы перед выстрелом, а третий отмечал дальность полета стрел и возвращал их на линию огня. Полученные значения дальности занесены в табл. 2. Как видно из приводимой таблицы, предлагаемая зависимость ( $A = 1$ ) дает в 2–3 раза лучшую сходимость с результатами стрельб в процентном отношении, чем аналогичная формула Ю.А. Ведерникова и др. (в которой принято значение  $A = 2$ ). В связи с этим включение указанной зависимости в качестве процедуры в программный пакет «Archer» следует признать вполне обоснованным.

Таблица 2

Результаты внешнебаллистических экспериментов

Номер образца	Масса стрелы, кг	Дальность, полученная в ходе стрельб, м	$A = 1$		$A = 2$	
			Дальность, м	Расхождение, %	Дальность, м	Расхождение, %
1	0,0470	15	17,1	12,6	24,2	38,2
2	0,0466	18	17,2	4,5	24,4	26,1
3	0,0420	19	18,2	4,7	25,7	26,0
4	0,0473	14	17,0	18,1	24,2	42,1
5	0,0335	19	20,3	6,5	28,7	33,9

### Эксперименты по раневой баллистике

Чтобы определить способность тех или иных наконечников проникать в материал мишени на глубину, которая свидетельствует о том, что они имеют достаточную проникающую способность, авторы произвели серию экспериментов по раневой баллистике.

Стрельба производилась без закрепления лука в станке (с рук) в помещении, в условиях комнатной температуры, при нормальном атмосферном давлении и влажности. Серия выстрелов производилась различными стрелами с минимальными промежутками времени, необходимыми для замера глубины

погружения наконечника в мишень, занесения данных в протокол и извлечения стрелы из мишени. Таким образом, параметры лука, стрел и мишени оставались неизменными на всём протяжении серии стрельб.

Мишень представляла собой торец соснового бревна (рис. 3). Во всех случаях угол встречи стрелы с мишенью составлял  $90^\circ$ , а дистанция стрельбы – 3 м. Прогиб лука и ход тетивы полностью совпадали с таковыми в ходе внешнебаллистических экспериментов.

Стандартная величина амплитуды натяжения тетивы контролировалась по длине стрелы. Общая длина стрелы от острия наконечника до ушка составляла  $\sim 0,78$  м. Сила натяжения лука на данной амплитуде, измеренная до начала эксперимента динамометром, составляла 12 кгс ( $\sim 120$  Н). Следовательно, каждая из стрел получала от метательной установки одинаковый импульс. Масса стрел варьировалась от 0,033 до 0,047 кг и была обусловлена в каждом из случаев массой наконечника и массой древка: стрелы имели наконечники с разными габаритами с черешковым насадом и древки различного диаметра.



Рис. 3. Наконечник в мишени (увеличено)

Реплики ланцетовидных наконечников были изготовлены из стали методомковки, их поверхность зашлифована до металлического блеска. Следовательно, чистота поверхности и прочностные характеристики всех снарядов были одинаковыми. Ни один из снарядов в ходе экспериментов не получил деформаций или разрушений (рис. 4).

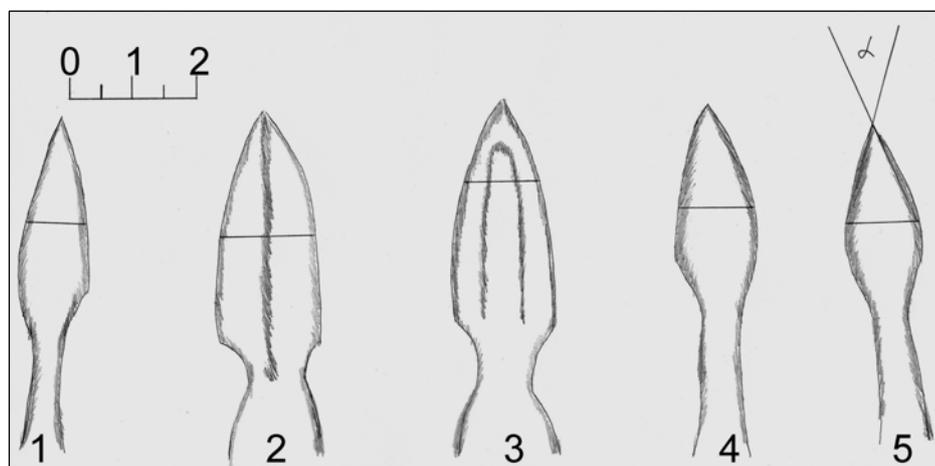


Рис. 4. Горизонтальные отрезки отмечают глубину проникновения наконечника (на образце 5 показана степень заостренности – угол  $\alpha$  при острие)

Параметры исследованных стрел и результаты экспериментальной стрельбы были занесены в табл. 3. Перечень минимально необходимых параметров и, соответственно, состав полей таблицы были подобраны таким образом, чтобы осуществлять поиск реляционных связей между значениями. Исходя из того, что значимыми параметрами наконечников были их толщина и ширина в миделе, их сечение в плоскости поверхности цели, поперечная площадь  $S$  рассматривалось несколько упрощенно – как эллипс.

Известно, что убойное действие огнестрельного снаряда (пули) принято оценивать по величине энергии на 1 см длины раневого канала (длиннее канал – больше убойное действие). То есть убойное действие зависит от способности данного снаряда проникать в тот или иной материал: от проникающей способности. В свою очередь, относительное останавливающее действие (пули) принято определять умножением массы на скорость и поперечную площадь наибольшего сечения (по формуле Ю. Хатчера [7]). Однако стрелы не всегда входят в цель на всю свою длину. Частым случаем является проникновение в цель лишь головной части наконечника. При этом наибольшая поперечная площадь (мидель) может оставаться снаружи. Таким образом, для анализа качественных параметров стрел было предложено целесообразным ввести величину, которая отражает и глубину проникновения снаряда и его поперечную площадь на данной глубине: *проникающий объем*. Соответственно, объем острия наконечника  $V$ , погруженный в мишень (проникающий объем) для рассматриваемых здесь наконечников предлагается вычислять как объем овального конуса по формуле

$$V_{\text{кон}} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot h}{6},$$

где  $d_1$  – большой диаметр овала сечения (ширина наконечника);  $d_2$  – меньший диаметр овала (толщина наконечника);  $h$  – высота конуса (глубина погруженной части).

Таблица 3

Массово-габаритные показатели реплик стрел

Номер стрелы	Масса, г	d1, мм	d2, мм	h, мм	S, мм <sup>2</sup>	V, мм <sup>3</sup>	S/h	$\alpha$
1	47	4	10	14	62,8	293	4,5	38°
2	46,6	4	13	20	81,6	544	4,1	40°
3	42,1	3	11	13	51,8	224	3,98	45°
4	47,3	3,5	12	18	65,9	396	3,6	40°
5	33,5	3,5	11	15	60,4	302	4	40°

Как можно прокомментировать табличные данные?

1. Наконечники № 1 и 5 имеют близкие значения площади поперечного сечения (в плоскости поверхности цели)  $S$  и проникающего объема. Однако массы стрел, которые несут эти наконечники, отличаются на 40 %. Из чего можно сделать заключение, что, поскольку величины дульной энергии обеих стрел почти равны, у образца № 1 она обеспечивается большей массой, а у № 5 – повышенной скоростью.

2. Наконечник № 2, по всей видимости, имеет наилучшую форму для проникновения в материал цели: он имеет наивысшие показатели глубины проникновения и величины проникающего объема.

3. Введём показатель степени удлинения наконечников в погрузившейся части. Выразим его как отношение площади сечения (в плоскости цели) к глубине проникновения:  $S/h$ . Наилучший показатель по данному параметру имеет образец № 4. Однако это и наиболее массивный образец, который имеет второй по величине показатель проникающего объема. Поэтому можно обоснованно полагать, что массовые показатели снарядов № 2 и 4 (~0,047 кг) соответствуют тем, что требуются для наивысшего КПД системы лук–стрела.

4. Поскольку для столь малой дистанции, которую пролетали стрелы в условиях эксперимента (3 м), работу сил сопротивления воздуха можно считать пренебрежимо малой, полученные данные можно в первой степени приближения распространить на раневую баллистику реальной боевой или охотничьей стрелы. В нашем случае величина кинетической энергии рассматриваемого множества стрел (масса около 0,04 кг, скорость схода с тетивы около 30 м/с) составляет 176,6 Дж. Известно, что снаряд, имеющий величину энергии 135...145 Дж на 1 см поперечной площади способен произвести проникающее ранение грудной клетки с повреждением задней стенки [8]. Наибольший показатель поперечной площади имеет образец № 2: 0,8 см<sup>2</sup>. Для него величина удельной кинетической энергии (на единицу площади) составит  $176,6 : 0,8 = 220$  Дж/см<sup>2</sup>, что значительно превышает необходимый минимум для летального поражения. Эти данные позволяют обоснованно полагать, что, пролетев 50 м, те же стрелы внедрятся в ту же мишень на требуемую для целей войны и охоты глубину – 0,5 см. Иными словами, в точке падения стрела, преодолев сопротивление воздуха, сохранит минимально необходимое убойное значение энергии. Данные обстоятельства дают основания для вывода о том, что принятая авторами методика баллистической экспертизы и натурной реконструкции позволяет создавать реплики предметов оружия, которое в реальности могло быть применено народом ханты в целях войны и охоты, и описанный комплекс исследовательских подходов может быть рекомендован для применения историками вооружений и археологами.

#### Литература

1. Коробейников А.В., Митюков Н.В. Историческая реконструкция параметров технических систем // шифр «СТРЕЛА», Государственный регистрационный № 01.2006–14646, код ВНИИЦ 024000230–0388.
2. Коробейников А.В., Митюков Н.В. Программа реконструкции проектных параметров стрелы по археологическим следам «Osseus v1.0» // ГР в ВНИИЦ 02.02.2006 № 50200600112. Отраслевой фонд алгоритмов и программ 31.01.2006 № 5624. Заявл. 21.12.2005 № 03524577.01297-01 99 01.
3. Коробейников А.В., Митюков Н.В., Мокроусов С.А. Программа реконструкции баллистических характеристик лука и стрелы по параметрам костяного наконечника «Archer v 2.0» // ГР в ВНИИЦ 14.10.2005 № 50200501462. Отраслевой фонд алгоритмов и программ 10.10.2005 № 5271. Заявл. 11.09.2005 № 03524577.01141-01 99 01.

4. Денисов С.А. Эксперименты по физическому моделированию традиционного ручного охотничьего лука ханты // Экология древних и традиционных сообществ: Доклады Третьей всероссийской научной конференции. Вып.3. Тюмень: Вектор Бук, 2007. С. 253–257.

5. Коробейников А.В., Митюков Н.В. Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область. Ижевск: Изд-во НОУ КИТ, 2007. 140 с. Режим доступа: [<http://www.imha.ru/index.php?do=cat&category=b-library>].

6. Ведерников Ю.А., Худяков Ю.С., Омелаев А.И. Баллистика. От стрел до ракет. Новосибирск, 1995. 236 с.

7. Колмыков А.Н. Математическое моделирование движения пули в преграде // Режим доступа: [[www.sneat.ru/bullet-2.html](http://www.sneat.ru/bullet-2.html)].

8. Холодное и метательное оружие: криминалистическая экспертиза / Все об арбалетах: арбалетно-лучный портал // Режим доступа: [[http://arbalet.h1.ruread\\_zakon\\_expertiza.php](http://arbalet.h1.ruread_zakon_expertiza.php)].