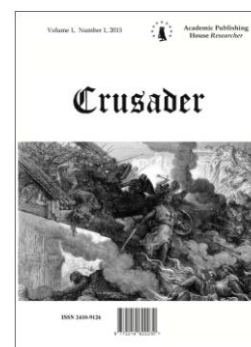


Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
 Crusader
 Has been issued since 2015.
 ISSN: 2409-6288
 Vol. 1, Is. 1, pp. 50-56, 2015

DOI: 10.13187/crus.2015.1.50
www.ejournal29.com



UDC 94(460).02

Aeroballistic Parameters of Arab arrows On the Medieval Tract "Arab Archery"

¹Nikolas W. Mitiukov

²Elena L. Busygina

¹⁻² Izhevsk State Technical University named after MT Kalashnikov,
 Kamsky Institute of Humanitarian and Engineering Technologies, Russian Federation

¹Dr. (Technical Sciences), Professor

²PhD (physical and mathematical sciences), Associate Professor

Abstract

With a helping of simple mathematical models there was analyzed the ballistic information of the Arab arrow on medieval Arabic treatise "Arab archery". It is shown that there were no any errors on the text and the translation was correct, then, apparently, Arabian heavy arrow had specific design and can no to be in one quiver with the light arrows. Regarding light arrows, then, apparently, they have the typical design with coefficient of drag function $c_x \approx 2$, and firing was carried out to a maximum range Arabic archer with an elevation angle about 10° .

Keywords: middle ages, arabs, arrow, bow, ballistics, drag function.

Введение

Средневековый трактат "Arab archery" является ценным письменным свидетельством, описывающим конструкцию, технологию изготовления и конструктивные элементы арабских луков и стрел. Как показано в работе А.В. Коробейникова [1], анонимный арабский автор попытался обойти ряд ключевых моментов, касавшихся конструкции, очевидно имевших стратегическое значение. Однако часть этой информации представляется возможным определить, используя методы математического моделирования.

Исходная информация трактата "Arab archery"

Поскольку вся баллистическая информация в работе приведена в арабской системе мер, на первом этапе следует привести ее к метрической. Как предположил А.В. Коробейников, мусульманский локоть примерно равен 50 м, ратль – 435 г., а дирхем – примерно 3 г. [1].

Анонимный арабский автор пишет: *"Лучники яростно спорят относительно веса стрел, их наконечников и оперений. Некоторые утверждают, что для лука в 20 ратлей (8,7 кГ) надо иметь стрелу в 3 дирхема (9 г), а для лука в 30 ратлей (13,05 кГ) – в 4 дирхема (12 г). Каждому увеличению веса лука на 10 ратлей (4,35 кГ) соответствует увеличение веса стрелы на 1 дирхем (3 г). Другие утверждают, что вес стрелы должен быть от 7 до 20 дирхемов (21...60 г) вне зависимости от жесткости лука. Если лук*

эластичен и имеет вес менее 80 ратлей (34,8 кг), стрелы для него должны весить 7 дирхемов (21 г), что значит: 6 дирхемов без $\frac{1}{3}$ приходится на вес дерева (17 г), 1 дирхем на наконечник (3 г), а $\frac{1}{3}$ дирхема на клей и перья (1 г). Если лук имеет 80 ратлей (34,8 кг), стрелы для него должны весить 10 дирхемов (30 г): 8 $\frac{1}{2}$ дирхемов приходится на древко (25,5 г), полтора дирхема на наконечник, перья и клей (4,5 г). Для луков свыше сотни ратлей (> 43,5 кг) стрела должна весить от 16 до 20 дирхемов (48...60 г.) и никогда больше, если вы хотите достичь точности и скорости".

В данном случае под весом лука понимается усилие не тетиве. Как известно, 1 кг = 9,81 Н. Относительно дальности стрельбы арабских стрел в трактате имеется следующая информация: "Тахир аль-Бальхи сообщил, ссылаясь на мнение своего деда Сапира дуль-Акфара (Сапир II, 310-379 н.э.), что вес стрелы для тугого лука должен составлять 12 дирхемов (36 г), 10 из которых приходятся на древко (30 г), а 2 – на наконечник и оперение (6 г). Такими стрелами пользовались владыки Персии. Они похвалялись стрельбой из прямого лука легкими стрелами. Тахир утверждал, что если лук имеет 30 ратлей (13,05 кг), то стрела должна весить $9\frac{1}{3}$ дирхема (28 г), и летит она на сотню локтей (≈ 50 м); для лука в 40 ратлей (17,4 кг) стрела должна быть такой же – $9\frac{1}{3}$ дирхема (28 г), но летит она на 125 локтей (≈ 75 м); для лука в 60 ратлей (26,1 кг) и стрелы в 10 дирхемов (30 г) дальность полета составляет 170 локтей (≈ 85 м); аналогично, для лука в 90 ратлей (39,2 кг) дистанция составит 200 локтей (≈ 100 м) при стреле в 10 дирхемов (30 г); для лука в 100 ратлей (43,5 кг) стрела должна весить от 12 до 16 дирхемов (36–48 г.), а дистанция составит от 270 до 300 локтей (135–150 м). Вес стрелы не должен превышать указанного значения, <так как> дальность полета стрелы уже не возрастает".



Рис. 1. Иранское изображение арабских лучников

"Некоторые лучники полагают, что стрелы для целевой стрельбы должны весить от 12 до 16 дирхемов (36–48 г) и никогда больше, если вы желаете достичь точности и скорости. Боевые стрелы, однако, должны иметь вес от 15 до 20 дирхемов (45–60 г). Мы пришли к такому выводу опытным путем. Стрела для войны должна иметь крупный и широкий металлический наконечник. Специалисты избегают использовать тяжелые стрелы по причине их многочисленных пороков <изготовления> и низкой эффективности. Они предпочитают использовать легкие стрелы с жесткими луками, так как стрелы при этом летят прямо и без колебаний. Другие утверждают, что стрелы для целевой стрельбы должны быть тяжелыми и иметь развитое оперение. Я сам использовал для стрельбы по мишени стрелу весом более 20 дирхемов (60 г). Как было сказано, тонкие стрелы улучшенной выделки подходят для стрельбы на дальность и для обстрела противника на большой дистанции".

"Для постановки трюков феноменальной меткости стрельбы на близкие расстояния требуются тяжелые стрелы цилиндрической формы веса около 15 дирхемов (45 г). Каждый лучник должен попробовать оба варианта, тяжелые и легкие. Короче говоря, легкие стрелы глубже проникают в цель и летят дальше, хотя тяжелые и показывают лучшую точность. Для каждого вида стрельбы должен подбираться наиболее подходящий вес стрелы".

Обсуждение и результаты

После обработки, данные натурных испытаний стрел можно свести в табл. 1 [1, С. 115].

Таблица 1. Обработанные баллистические данные по арабской стреле

Стрела	1	2	3	4	5
Сила натяжения, кГ	13,5	17,4	26,1	39,2	43,5
Масса стрелы, г	28	28	30	30	36-48
Дальность, м	50	75	85	100	135-150

Ранее в наших работах было показано, что скорость схода стрелы с тетивы v (м/с) можно найти по зависимости:

$$v = \sqrt{\frac{F \cdot x}{m}},$$

где F – сила натяжения, Н; x – ход тетивы, м; m – масса стрелы, кг.

Идентификация этой зависимости была проведена по данным хантыйского лука [2], а также экспериментального стального лука [3]. В первом случае погрешность составила 4,04 %: 33,2 м/с по формуле и 34,6 м/с по результатам динамометрических испытаний, во втором случае – 8,15 %: 51,5 м/с и 47,3 м/с соответственно. Далее, задаваясь ходом тетивы на луке, а как было показано в наших работах, он колебался в районе 0,3 м [4], можно определить наиболее вероятные диапазоны изменения скорости схода стрелы с тетивы (табл. 2).

Таблица 2. Расчетные скорости схода и угол возвышения стрелы арабского лука

Стрела	1	2	3	4	5 max	5 min
Скорость средняя, м/с	37,67	42,76	50,60	62,01	59,63	51,64
Скорость максимальная, м/с	39,55	44,90	53,13	65,11	62,61	54,23
Скорость минимальная, м/с	35,78	40,63	48,07	58,91	56,65	49,06
Угол возвышения без учета роста стрелка	10,12°	11,87°	9,51°	7,39°	12,23°	14,89°
Угол возвышения с учетом роста стрелка	8,34°	10,67°	8,47°	6,52°	11,63°	14,21°

При проведении внешнебаллистического расчета возникает одна проблема: не понятно при каком угле возвышения проводились испытания. В связи с этим можно попытаться оценить этот угол θ без учета влияния атмосферы по известной формуле:

$$\sin 2\theta = \frac{g \cdot X}{v^2},$$

где g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$); X – дальность стрельбы, м. Расчетные данные сведены в таблицу 2 (пятая строка). Средний угол возвышения – $11,00^\circ$.

Однако обычно стрела летит не с нулевой высоты, а с высоты рук стрелка. В наших ранних работах мы принимали эту высоту равной $1,5 \text{ м}$. Для определения влияния высоты стрелка определим угол возвышения. Нетрудно убедиться, что ее можно определить как:

$$X = \frac{v^2 \cdot \sin 2\theta}{g} + v \cdot \cos\theta \cdot \frac{-v \cdot \sin\theta + \sqrt{v^2 \sin^2\theta + 2gh}}{g},$$

где h – начальная высота, м. Данное уравнение проще решать численными методами, расчетные углы возвышения сведены в таблицу 2 (шестая строка). Средний угол возвышения – $9,97^\circ$. Как видно, влияние роста стрелка на максимальную дальность крайне незначительно.

Ранее мы показали, что коэффициент аэродинамического сопротивления стрел одной партии даже с разными наконечниками меняется незначительно [4], в связи с этим можно решить следующую математическую задачу, в предположении, что угол возвышения для всех стрел одинаков – совместное определение этого угла и коэффициента аэродинамического сопротивления. Графический смысл этих расчетов видно из рис. 2. Для обеспечения известной дальности с увеличением угла возвышения требуется увеличение коэффициента аэродинамического сопротивления. С другой стороны известен угол возвышения (табл. 2 строка шесть) при отсутствии сопротивления ($c_x = 0$), это будет точка пересечения кривой с осью абсцисс. Построив семейство графиков, можно будет увидеть, что все они проходят через определенную область, или точку, когда имеется абсолютно точное решение. В общем случае, из-за неопределенности в подсчете дальности (например, ясно, что "100 локтей" – это округленное значение) и в определении скорости (табл. 2 строки 3 и 4 дают представление о разбросе скорости), для каждой из кривой имеется дисперсия, центром области которой (математическое ожидание) и является эта кривая. Именно координаты области пересечения кривых и должны дать средний c_x для всей партии стрел и средний угол возвышения всех стрельб $\theta_{\text{стр}}$.

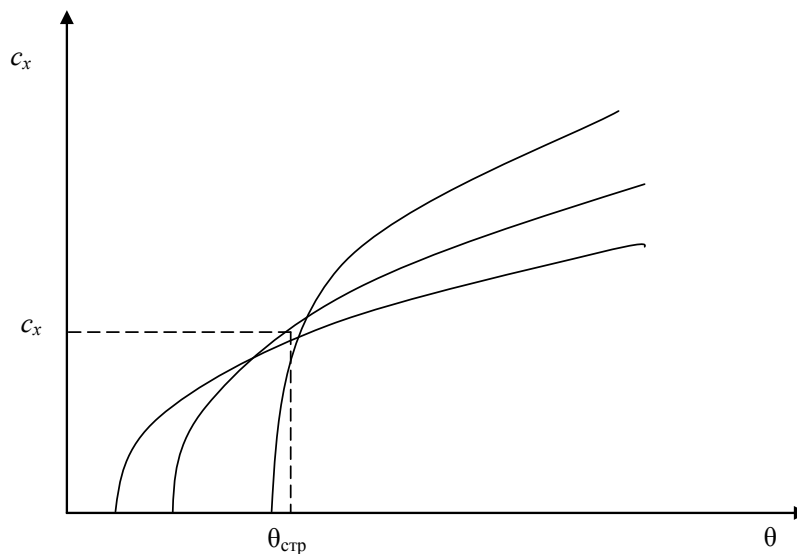


Рис. 2. Схема определения угла возвышения при стрельбах и коэффициента сопротивления партии стрел

Для проведения серии обратных баллистических расчетов была использована программа Artillery [6, 7]. Для каждой из стрел (табл. 2) с шагом по углу возвышения в $0,5^\circ$ был определен коэффициент формы i по отношению к закону сопротивления Сиаччи. Поскольку диапазон скоростей, характерный для указанных стрел приходится на прямолинейный участок закона Сиаччи, коэффициент аэродинамического сопротивления определяется простой зависимостью:

$$c_x = 0,255 \cdot i.$$

Как видно из рис. 3, результаты расчетов четко разделяют все арабские стрелы на два кластера: 1, 3, 4 и, возможно, 2, а также 5 max, 5 min и, возможно, 2. Для стрел легкого типа (1, 3 и 4) коэффициент формы вероятнее всего $i \approx 8$, из чего следует, что коэффициент аэродинамического сопротивления $c_x \approx 0,255 \cdot 8 = 2,04$, что вполне согласуется с нашими ранними данными [4].

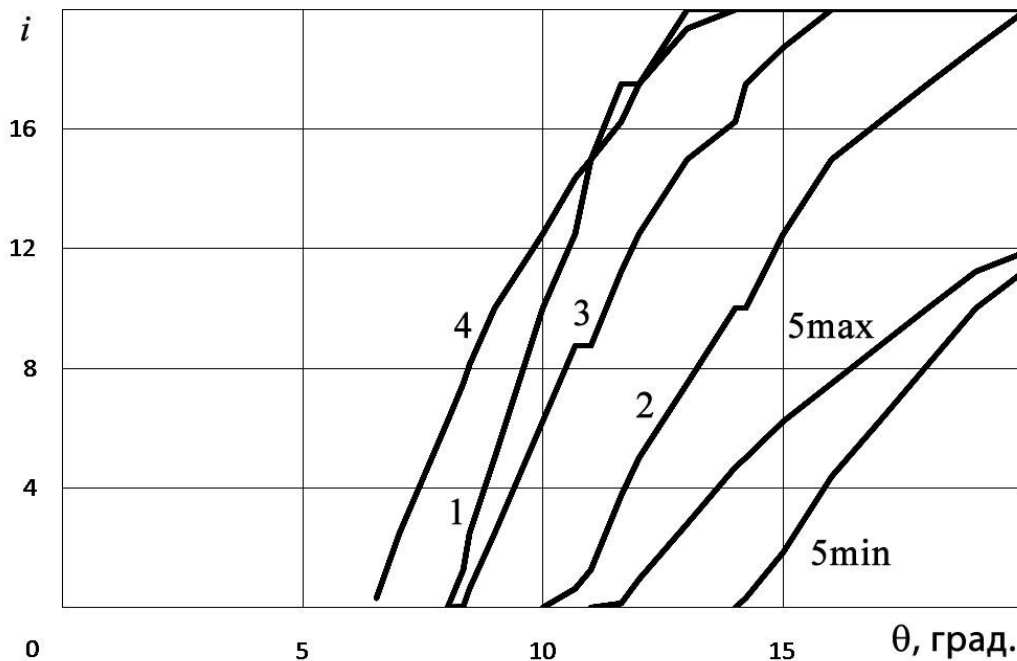


Рис. 3. Коэффициент формы к закону Сиаччи от угла возвышения для стрел табл. 2

Выводы

Проведенная идентификация баллистической информации работы "Arab archery" позволяет сделать следующие выводы.

1. В баллистических данных имеются опечатки или дефекты перевода.
2. Арабские стрелы пятого типа (тяжелые стрелы) имели существенные отличия в конструкции и не могли использоваться в одном колчане с более легкими. Методика испытаний на максимальную дальность для этих стрел отличалась от испытаний более легких.
3. Для легких арабских стрел коэффициент аэродинамического сопротивления $c_x \approx 2$, который был получен при стрельбе на максимальную дальность с углом возвышения около 10° .

Примечания:

1. *Коробейников А.В.* Средневековый трактат "Arab archery" о параметрах луков и стрел // Иднакар. 2008. № 2. С. 107-118.
2. *Денисов С.А., Коробейников А.В., Митюков Н.В.* Хантыйский лук и стрелы: реконструкция и баллистическая экспертиза // Иднакар. 2008. № 2. С. 64-79.
3. *Ганзий Ю.В., Салахов М.М., Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л.* Экспериментальное определение закона аэродинамического сопротивления стрелы // Вестник ИжГТУ. 2012. № 4. С. 157-160.
4. *Коробейников А.В., Митюков Н.В.* Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область. Ижевск: Изд-во НОУ «КИТ», 2007. 140 с. (ISBN 978-5-902352-20-4).
5. Arab archery. An Arabic manuscript of about A.D. 1500 "A book on the excellence of the bow & arrow" and the description thereof. Princeton: Princeton University Press, 1945. 182 p.
6. *Митюков Н.В., Мокроусов С.А.* Программа прямых и обратных внешнебаллистических расчетов «Artillery v 2.0» // ГР в ВНТИЦ 19.10.2005 № 50200501493.
7. *Мокроусов С.А., Митюков Н.В.* Программа определения баллистических характеристик снаряда // Информационные технологии в инновационных проектах: Тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. (Ижевск, 29-30 мая 2003 г.). Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. Ч. 2. С. 57-59.

References:

1. *Korobejnikov A.V.* Srednevekovyj traktat "Arab archery" o parametrah lukov i strel // Idnakar. 2008. № 2. S. 107-118.
2. *Denisov S.A., Korobejnikov A.V., Mitiukov N.V.* Hantyskij luk i stely: rekonstrukcija i ballisticheskaja jekspertiza // Idnakar. 2008. № 2. S. 64-79.
3. *Ganzij Ju.V., Salahov M.M., Mitiukov N.V., Busygina E.L.* Jeksperimental'noe opredelenie zakona ajerodinamicheskogo soprotivlenija strely // Vestnik IzhGTU. 2012. № 4. S. 157-160.
4. *Korobejnikov A.V., Mitiukov N.V.* Ballistika strel po dannym arheologii: vvedenie v problemnuju oblast'. Izhevsk: Izd-vo NOU «KIT», 2007. 140 s. (ISBN 978-5-902352-20-4).
5. Arab archery. An Arabic manuscript of about A.D. 1500 "A book on the excellence of the bow & arrow" and the description thereof. Princeton: Princeton University Press, 1945. 182 p.
6. *Mitiukov N.V., Mokrousov S.A.* Programma prjamyh i obratnyh vneshneballisticheskikh raschetov «Artillery v 2.0» // GR v VNTIC 19.10.2005 № 50200501493.
7. *Mokrousov S.A., Mitiukov N.V.* Programma opredelenija ballisticheskikh harakteristik snarjada // Informacionnye tehnologii v innovacionnyh proektah: Tr. IV Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (Izhevsk, 29-30 maja 2003 g.). Izhevsk: Izd-vo IzhGTU, 2003. Ch. 2. S. 57-59.

УДК 94(460).02

Аэробаллистические параметры арабских стрел по средневековому трактату "Arab archery"¹ Николай Витальевич Митюков² Елена Леонидовна Бусыгина

¹⁻² Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, Российская Федерация

¹ Доктор технических наук, профессор

² Кандидат физико-математических наук, доцент

Аннотация. С помощью простейших математических моделей проанализирована баллистическая информация об арабской стреле из средневекового арабского трактата "Arab archery". Показано, что, если в тексте нет опечаток и перевод корректен, то, по-видимому, тяжелая арабская стрела имела специфическую конструкцию и не могла находиться в одном колчане с легкими. Что касается легких стрел, то, по-видимому, они имели типовую конструкцию с коэффициентом аэродинамического сопротивления $c_x \approx 2$, а стрельба на максимальную дальность осуществлялась арабским лучниками с углом возвышения около 10° .

Ключевые слова: средние века, арабы, стрела, лук, баллистическая экспертиза, аэродинамическое сопротивление.