

УДК 517.958.52/59

Н. В. Митюков, доктор технических наук, доцент
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

СИСТЕМА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОБАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Предложена система обработки и интерпретации аэробаллистической информации на основе ранее разработанной системы комплексной баллистической реконструкции «стрелок – оружие – снаряд – цель» с интеграцией в нее системы аэродинамических расчетов на основе ANSYS CFX, позволяющая существенно расширить возможности исторической реконструкции. Предложенная система апробирована на анализе вещевого материала стрел скифских наконечников, полученном А. И. Мелюковой, и дала возможность установить, что все стрелы могли принадлежать к одной синхронной партии.

Ключевые слова: математическое моделирование, аэродинамическое сопротивление, реконструкция, обработка и интерпретация информации.

Введение

В настоящее время историками накоплен богатый исторический материал о баллистических характеристиках средневекового металлического оружия. Однако весь этот массив данных находится в виде эклектичных, нередко противоречащих друг другу сведений, лишенных всякой систематизации. Ранее нами был предложен метод комплексной баллистической реконструкции системы «стрелок – оружие – снаряд – цель», позволяющий извлечь из исторического источника максимум скрытой, неявной информации, недоступной при использовании традиционных методов исторических исследований (рис. 1) [1]. Метод дал прекрасные результаты при исторической реконструкции не только стрел, но и другого средневекового метательного оружия, например пращей [2].

Как показало наше исследование, в литературе отсутствуют надежные и хорошо апробированные аналитические методики аэродинамического расчета поражающих элементов на дозвуковых скоростях [3, 4], и лишь использование конечно-разностных методов в аэродинамическом расчете дает возможность получить достоверную информацию [5]. Таким образом, задача данного исследования заключалась в адаптации существующих систем аэродинамических расчетов, использующих конечно-разностные методы (на примере ANSYS CFX) под задачи исторической реконструкции, и разработке на основе этого системы обработки и интерпретации аэробаллистической информации.



Рис. 1. Схема комплексной баллистической реконструкции

Определение аэродинамических параметров с помощью пакета ANSYS CFX

Алгоритм определения аэродинамических параметров поражающих элементов состоит из следующих пунктов:

1. Разработка трехмерной геометрической модели поражающего элемента и создание расчетной области (например, в программном комплексе Pro/Engineer).

2. Импортрование полученной модели в графическую оболочку Workbench ANSYS CFX.

3. Создание трехмерной сетки в CFX-mesh. Каждое граничное условие выделяется в отдельный элемент (название по умолчанию – composite 2d region). Затем выделяются области, к градиентам параметров в которых предъявляют наиболее высокие требования по точности расчета, а также области, кардинальным образом влияющие на решение. Например, для решения задачи обтекания дозвуковым потоком стрелы наиболее важными являются области оперения и наконечника. Затем, в зависимости от развитости турбулентного течения, необходимо выбрать модель турбулентности. Как показали наши расчеты, для решения аэродинамической задачи средневекового оружия наилучшим образом подходит модель турбулентности $k-\epsilon$ [6]. Треугольные элементы для локального изменения плотности сетки (triangle control) необходимо связать в узлы так, чтобы вихревая область за стрелой полностью попала в зону локального сгущения плотности сетки. На последнем этапе генерируется конечный вид сетки и создается сетка по объему расчетной области.

4. Проведение расчета в модуле ANSYS CFX – CFX-Pre, для чего необходимо импортировать в этот модуль ранее созданный файл с объектом и сеткой, задать данные по материалам и веществам, модель турбулентности, граничные условия, время расчета, подвижность или неподвижность элементов конструкции. При необходимости задачу можно распараллелить на имеющееся количество ядер компьютера.

5. Заключительной операцией моделирования является просмотр и анализ результатов. Здесь генерируются необходимые картины обтекания, создаются графики зависимостей и определяются интегральные аэродинамические характеристики (аэродинамические силы и коэффициенты) в осях X, Y, Z .

Источники аэробаллистической информации

Исторические свидетельства об аэробаллистической информации можно разделить на несколько групп. Во-первых, это исторические натурные образцы и образцы-реплики, сделанные в подражание исторических образцов (иногда и по средневековым технологиям). При этом следует принимать в рассмотрение, что дожившие до нашего времени образцы чаще всего сохранились в сильно фрагментированном виде, нередко искаженные в ходе неправильного хранения или некорректной реставрации. Но даже если образец имеет идеальную сохранность, не факт, что он сохранил первоначальные пропорции и не имеет следов коррозии. В связи с этим существует некая неопределенность в опреде-

лении аэробаллистических характеристик по сохранившимся образцам. Аналогичный вывод можно сказать и по образцам-репликам. Хотя они и могут быть использованы для натуральных экспериментов, но изготавливались они на современном оборудовании или с использованием современных инструментов, что также дает неопределенность реконструируемых характеристик.

Во-вторых, можно привлечь архивную информацию о результатах баллистических испытаний прошлого. Это могут быть как прямые свидетельства, например о том, что стрела полетела на определенную дальность, так и косвенные, например, что стрела совершила определенную работу. В этом случае с помощью обратного баллистического расчета можно найти среднюю на всей траектории силу аэродинамического сопротивления или коэффициент аэродинамического сопротивления c_x . Однако и этот источник содержит элемент неопределенности. Невершенство измерительной базы, нередко описательный характер свидетельств (без конкретных цифр), вышедшая из употребления система мер – вот далеко не полный перечень причин недоверия к архивной информации. Даже недвусмысленные свидетельства нередко оказываются неточными (в работе [7] дается пример анализа средневекового арабского источника).

Третий тип источников – свидетельства о повреждениях, нанесенных стрелами. Например, используя современные методы криминалистики, можно по остеологическому материалу с застрявшими в нем наконечниками стрел восстановить энергию стрелы в момент удара. Аналогичную информацию можно получить, анализируя тип и характер повреждений на щитах, шлемах и т. д.

Используя комплексно все три вида источников, можно привести их к соизмеримому виду, например во всех случаях определить коэффициент c_x . И таким образом появляется возможность провести комплексный анализ всех источников.

Система обработки и интерпретации аэробаллистической информации

Использование систем конечно-элементного анализа ANSYS дает возможность существенно расширить спектр решаемых задач системой комплексной баллистической экспертизы. Схема их взаимодействия представлена на рис. 2. Исходя из выделенных выше групп источников исторической информации, можно предложить три основных пути взаимодействия системы комплексной аэробаллистической экспертизы с системой конечно-элементного анализа ANSYS (рис. 2):

1) прямой анализ исторических данных (на основе вещевого материала с раскопок, архивных свидетельств, данных этнографических экспедиций и т. д.), когда имеется массово-габаритные характеристики поражающих элементов и для получения аэродинамической информации необходим лишь прямой расчет по известным трехмерным геометрическим моделям;

2) анализ исторических данных с предварительно полученной информацией системы комплексной баллистической экспертизы, когда массово-габаритные характеристики поражающих элементов стали результатом исторической реконструкции, причем как путем выработки наиболее вероятного облика, так и сужение поля поиска путем исключения наименее вероятных обликов;

3) анализ полученной информации с помощью системы экспертизы, уточнение расчетной задачи являет собой пример многократного взаимодействия систем, в этом случае обычно происходит вариационное решение задачи аэробаллистической экспертизы.

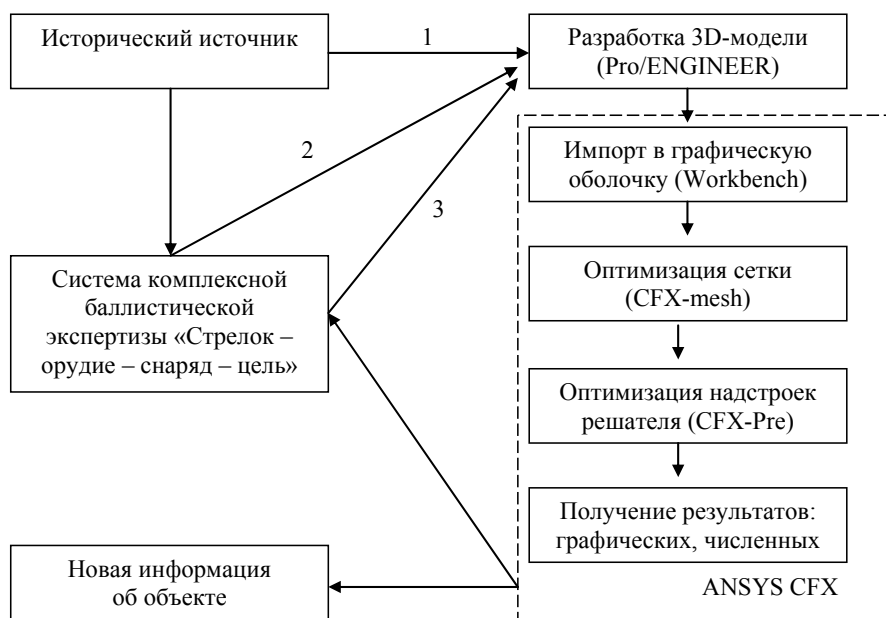


Рис. 2. Взаимодействие системы комплексной аэробаллистической экспертизы с системой ANSYS

Заключение

В ходе работы была предложена система обработки и интерпретации аэробаллистической информации на основе взаимодействия системы комплексной аэробаллистической экспертизы с системой конечно-элементного анализа ANSYS. В качестве иллюстрации возможностей ее практического применения проведена аэробаллистическая экспертиза наконечников стрел «скифского типа», найденных в бассейне реки Северный Донец и систематизированных А. И. Мелюковой [8]. Работа чрезвычайно подробна и содержит описание около 150 морфологических единиц, схожих друг с другом. Попытка комплексной баллистической реконструкции по нашей методике была проведена А. В. Шелеханем и А. В. Коробейниковым [9], но, поскольку они находились в рамках упомянутых выше ограничений, работа свелась к анализу степени непохожести 11 отобранных ими наиболее репрезентативных экземпляров.

Наши исследования, проведенные при взаимодействии с системой ANSYS, показали [10], что все 11 наконечников найденных стрел вполне могут принадлежать одной синхронной серии, и, следовательно, в период VII–IV вв. до н. э. скифский лук не претерпевал существенных изменений. А, кроме того, поскольку среди контрольной выборки имелись как боевые, так и охотничьи стрелы, по всей вероятности скифы использовали одну универсальную конструкцию лука.

Библиографические ссылки

1. Коробейников А. В., Митюков Н. В. Баллистика стрел по данным археологии: введение в проблемную область. – Ижевск : Изд-во НОУ «КИТ», 2007. – 140 с.
2. Ганзий Ю. В., Митюков Н. В. К вопросу об аэродинамике снаряда для пращи // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 5 (87). – С. 172–173.
3. Митюков Н. В. Идентификация аэродинамических параметров дозвуковых поражающих элементов // Вестник КИГИТ. – 2013. – № 1 (31). – С. 56–63.
4. Касаткин Т. А. Сравнительный анализ некоторых методов аэродинамического расчета летательного аппарата на дозвуковом диапазоне скоростей // Новый университет. Сер. Технические науки. – 2014. – № 7–8. – С. 52–64. DOI: 10.15350/2221-9552.2014.7-8.0010.
5. Mitiukov N. V., Ganzly Y. V., Busygina E. L. Identification of Subsonic Aerodynamic Parameters Damaging Elements // European Journal of Technology and Design. – 2014. – Vol. 4. – № 2. – P. 81–85. DOI: 10.13187/issn.2308-6505.
6. Закон сопротивления дозвукового поражающего элемента типа стрела / Ю. В. Ганзий и др. // Вестник СГАУ. – 2012. – № 5 (36). – Ч. 1. – С. 19–23.
7. Korobeinikov A. V. Medieval Tract «Arab Archery» About the Parameters of Bows and Arrows as A Historical Source // Crusader. – 2015. – № 1. – P. 39–49. DOI: 10.13187/crus.2015.1.39.
8. Мелюкова А. И. Вооружение скифов. – Сер. Археология СССР. Свод археологических источников. – Вып. Д1-4. – М. : Наука, 1964. – 113 с.

9. Шелехань А. В., Коробейников А. В. Стрелы скифского типа: исследовательские подходы // Иднакар: методы историко-культурной реконструкции. – 2008. – № 2. – С. 80–92.

10. Korobeinikov A. V., Mitiukov N. V., Ganzu Y. V. Accuracy of Manufacturing the Scythian Arrow and Its Influence on the Arrow's Ballistic Parameters // Bylye gody. – 2014. – № 1. – С. 67–72.

* * *

Mityukov N. V., DSc in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU

System of processing and interpretation of the aeroballistic information

The system of processing and interpretation of the aeroballistic information was suggested based on previously developed system of the integrated ballistic reconstruction "shooter - weapons - projectile - target" with integration of the system for aerodynamic calculations based on ANSYS CFX, which allows enhancing significantly the ability of historical reconstruction. The proposed system was tested for the analysis of the archeological material of the Scythian arrowheads received by A.I. Melyukova and it provided an opportunity to state that all the arrows could belong to one synchronous party.

Keywords: mathematical modeling, drag function, reconstruction, processing and interpretation of information.

Получено: 09.10.15