

УДК 533.6.013.12:623.4

ЗАКОН СОПРОТИВЛЕНИЯ ДОЗВУКОВОГО ПОРАЖАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ТИПА СФЕРА

© 2012 И. В. Романенко¹, К. Р. Крауфорд², Н. В. Митюков^{1,3}, Е. Л. Бусыгина³

¹Ижевский государственный технический университет

²Gunnery Fire Control Group, США

³Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, Ижевск

Работа посвящена определению коэффициента аэродинамического сопротивления поражающего элемента типа сфера. В среде ANSYS CFX произведен расчёт и сравнение с экспериментальными опубликованными данными.

Аэродинамика, поражающие элементы, дозвуковое обтекание, сфера.

Существуют экспериментальные законы сопротивления сферических пуль. Первые опыты произвел в Англии в 1742 г. Робинс, который определял сопротивление воздуха с помощью баллистического маятника. Тем же методом пользовался в 1787–91 гг. Хеттон, производя эксперименты с пушечными ядрами. Начиная с 1860 г., подобные опыты с ядрами различного калибра проводятся в разных странах с использованием для регистрации электрических приборов. Результаты их сведены воедино французским баллистиком Эли. Практически одновременно Журне опубликовал свои результаты экспериментов с круглыми пулями калибром 18,5 мм [1]. В США имеется эталон "Sphere", представляющий собой сферу диаметром в 1 фут, для которого определена функция коэффициента сопротивления в диапазоне $M = 0,015–3,965$ [2] (рис. 1).

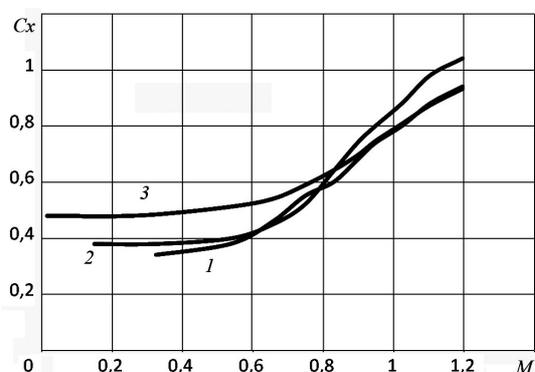


Рис. 1. Сравнение коэффициентов аэродинамического сопротивления сферы:
1 – Эли; 2 – Журне; 3 – "Sphere"

Как видно из приведённого рисунка, закон Эли и "Sphere" совпадают при $M > 0,8$. Ранее показано [3], что для большинства существующих законов сопротивления наибольшую практическую ценность представляют трансзвуковые и сверхзвуковые скорости – рабочий диапазон для стрелкового и пушечного оружия. В связи с этим обычно законы сопротивления на существенно дозвуковых скоростях определялись по "остаточному принципу", то есть с использованием аппроксимационных зависимостей, полученных для других диапазонов. Кроме того, на низких скоростях обычно более велика погрешность определения данных [4, 5].

Специфика баллистики сферических пуль предполагает, что они вращаются в полёте. При этом вектор угловой скорости перпендикулярен плоскости стрельбы. Благодаря эффекту Магнуса аэродинамическое сопротивление может либо увеличиваться, либо уменьшаться в зависимости от величины и направления вектора угловой скорости. Вследствие наличия зазора между пулей и каналом ствола, закручивание пули будет присутствовать в любом случае при стрельбе из гладкоствольного оружия, и вопрос состоит в величине угловой скорости, которая не фиксировалась ни в одном опыте XVIII–XIX вв. В этом отношении закон "Sphere" вызывает большее доверие, по крайней мере, современные методы натуральных испытаний позволяют свести эффект вращения сферы к минимуму.

Указанные ограничения существующих законов сопротивления сферы предопределили использование пакета ANSYS CFX для расчёта аэродинамики сферических пуль. На рис. 2 приведены результаты расчётов по определению C_x .

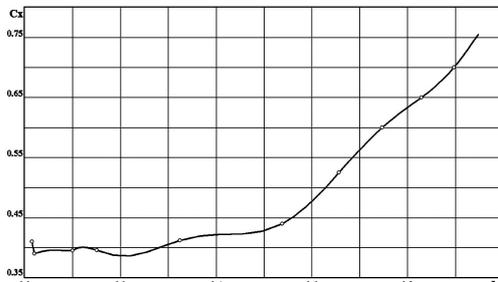


Рис. 2. Результаты расчёта коэффициента аэродинамического сопротивления сферы в среде ANSYS CFX

Из-за специфики аэродинамики сферических снарядов проводилась верификация количественная и качественная. Наиболее доступный способ качественной верификации заключается в сравнении топологии потока. На рис. 3 представлены результаты по определению точки отрыва потока и сравнение её с эмпирическими данными, опубликованными в работе [6]. Как видно, результаты практически совпадают.

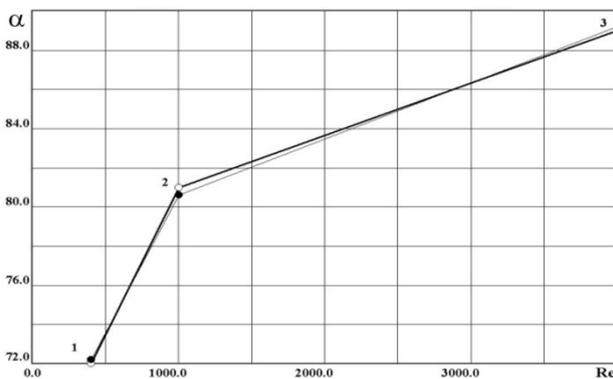


Рис. 3. Сравнение угла точки отрыва: толстая линия – расчёт, тонкая – результаты Волкова и Емельянова

На рис. 4 приведены результаты расчётов в сравнении с американским законом сопротивления "Sphere". Расчёт с моделью турбулентности $k-\epsilon$ и закон сопротивления "Sphere" совпадают при $M > 0,7$.

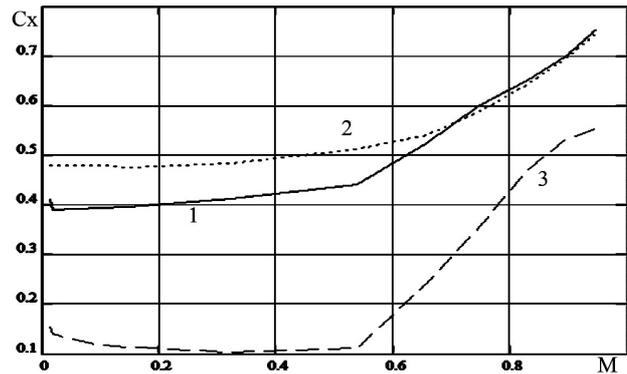


Рис. 4. Коэффициент аэродинамического сопротивления для сферы: 1 – расчёт в ANSYS CFX с моделью турбулентности $k-\epsilon$; 2 – закон сопротивления "Sphere"; 3 – расчёт в ANSYS CFX с моделью турбулентности SST

Результаты расчётов, произведённые в ANSYS CFX и верифицированные на доступных материалах, позволяют утверждать, что коэффициент аэродинамического сопротивления сферы ниже значений закона сопротивления "Sphere" в среднем на 20% в диапазоне $M = 0 \dots 0,6$.

Библиографический список

1. Шапиро, Я.М. Внешняя баллистика [Текст] / Я. М. Шапиро – М.: Оборонгиз, 1946. 408 с.
2. Jurens W.R. Exterior Ballistic with Microcomputers // Warship International. 1984. № 1. P. 49–72.
3. Ганзий, Ю.В. Исследование аэродинамических характеристик снаряда при активном старте [Текст] / Ю.В. Ганзий, А.Ш. Нагуманов, Н.В. Митюков // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса» (ПИТ-2010): Тр. межд. конф. с элементами научной школы для молодежи (Самара, 29 сентября–1 октября 2010 г.). Самара: Изд-во СГАУ, 2010. С. 502–504.
4. Митюков, Н.В. Обоснование выбора закона сопротивления для снарядов начала XX века [Текст] / Н.В. Митюков, Д.Л. Панков, И.А. Калинин // Мат. электронной заочной конф. «Молодежь, студенчество и наука XXI века». Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. С. 35–42.
5. Митюков, Н.В. Определение зависимости коэффициента формы от дальности для фугасных снарядов образца 1907 г. [Текст] / Н.В. Митюков // Материалы

междунар. научн.-техн. конф., посвященной 50-летию ИжГТУ. Ч. 4-5. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. С. 139–142.

6. Волков, К.Н. Течения газа с частицами [Текст] / К.Н. Волков, В.Н. Емельянов – М.: Физматлит, 2008. 600 с.

DRAG FUNCTION FOR THE STRIKING ELEMENT SPHERE-CLASS ON SUBSONIC VELOCITY

© 2012 I. V. Romanenko¹, K. R. Crawford², N. W. Mitiukov^{1,3}, E. L. Busygina³

¹Izhevsk State Technical University

²Gunnery Fire Control Group, USA

³Kama's Institute of Humanities and Engineering technologies, Izhevsk

The work is devoted to the definition of drag coefficient model submunitions on the example of the sphere. In a medium of ANSYS CFX been calculated and compared with experimental data published.

Aerodynamics, submunitions, subsonic flow, sphere.

Информация об авторах

Романенко Иван Валентинович, студент, Ижевский государственный технический университет. E-mail: terrris@mail.ru.

Крауфорд Кент Рэнд, магистр истории, профессор естествознания, инженер Gunnery Fire Control Group. E-mail: krand7@powerc.net. Область научных интересов: историческая реконструкция, военно-морская история, история артиллерии.

Митюков Николай Витальевич, доктор техн. наук, профессор кафедры «Тепловые двигатели и установки», Ижевский государственный технический университет, профессор кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Камский институт гуманитарных и инженерных технологий. E-mail: nico02@mail.ru. Область научных интересов: моделирование сложных систем, подводная археология, историческая реконструкция, военно-морская история.

Бусыгина Елена Леонидовна, канд. физико-математических наук, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины», Камский институт гуманитарных и инженерных технологий. E-mail: bel28@rambler.ru. Область научных интересов: нанотехнологии, спектроскопия, математическое моделирование, историческая реконструкция.

Romanenko Ivan Valentinovich, student of Izhevsk State Technical University.

Crawford Kent Rand, master of history, professor of natural history, engineer of Gunnery Fire Control Group. Area of research: historical reconstruction, naval history, the history of artillery.

Mitiukov Nicholas Witalievich, Engineering doctor, professor of chair Head engines of Izhevsk State Technical University, professor of chair Mathematic and Natural History of Kama's Institute of Humanities and Engineering technologies. Area of research: modeling of complex systems, underwater archeology, historical reconstruction, naval history.

Busygina Helena Leonidovna, PhD, docent of chair Mathematic and Natural History of Kama's Institute of Humanities and Engineering technologies. Area of research: nanotechnology, spectroscopy, mathematical modeling, historical reconstruction.