

УДК 517.958.52/59

## ЗАКОНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДОЗВУКОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

<sup>1</sup>Ганзий Ю.В., <sup>1</sup>Романенко И.В., <sup>1,2</sup>Митюков Н.В., <sup>2</sup>Бусыгина Е.Л.

<sup>1</sup>*Ижевский государственный технический университет, Ижевск, e-mail: ganziy@list.ru;*

<sup>2</sup>*Камский институт гуманитарных и инженерных технологий*

Работа посвящена определению коэффициента аэродинамического сопротивления типовых поражающих элементов на примере стрелы и сферы. В среде ANSYS CFX произведен расчет и сравнение с экспериментальными опубликованными данными.

**Ключевые слова:** аэродинамика, поражающие элементы, дозвуковое обтекание, сфера, стрела

## DRAG FUNCTION FOR THE SOME STRIKING ELEMENT ON SUBSONIC VELOCITY

<sup>1</sup>Ganziy Y.V., <sup>1</sup>Romanenko I.V., <sup>1,2</sup>Mitiukov N.W., <sup>2</sup>Busygina E.L.

<sup>1</sup>*Izhevsk State Technical University, Izhevsk, e-mail: ganziy@list.ru;*

<sup>2</sup>*Kama Institute of Humanities and Engineering technologies*

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

**Keywords:** aerodynamics, submunitions, subsonic flow, sphere, arrow

В настоящее время в производстве находятся некоторые образцы оружия, использующие дозвуковые поражающие элементы [1–5]. Это в первую очередь стрелы, использующиеся для боевых (у антитеррористических подразделений), спортивных и охотничьих луках и арбалетах, а также круглые пули – резиновые дробинки для пневматического оружия или шарики с краской оружия для пинбола.

Между тем, как показало проведенное исследование, в литературе отсутствуют хорошие методики для расчета аэродинамики этих тел [6–9]. Универсальные методы сверхзвукового диапазона коэффициента сопротивления, поскольку он является определяющим в механике полета этих тел. Однако как удалось установить, дозвуковой диапазон скоростей в них определен «по остаточному принципу» и дает существенное расхождение с имеющимися экспериментальными данными.

С другой стороны, имеются разрозненные данные, например, об аэродинамике спортивных стрел в работе В.Н. Тутевича, но все эти данные приводятся в относительном виде и выделение абсолютных характеристик на его базе не представляется возможным. Кроме того, имеются данные по обтеканию капель и круглых твердых частиц (закон Стокса, закон Озеена и др.), но их движение обычно происходит в вязких средах, а потому в них определяющим является число  $Re$ , причем, как правило, существенно докритическое. Пересчет этих зависимостей при учете вязкости атмосферного воздуха, дают скорости порядка нескольких десятков метров в секунду, что также не может быть удовлетворительным

для описания движения упомянутых пуль. И, наконец, особенности стрельбы гладкоствольным оружием предполагают наличие кручения пули в полете. Но в данном случае, в отличие от традиционного нарезного оружия, вектор угловой скорости направлен перпендикулярно плоскости стрельбы.

Все это в итоге определило проведение масштабной серии аэродинамических расчетов в среде ANSYS CFX с целью построения удовлетворительной аналитической методики расчета этих поражающих элементов [10–13].

На рис. 1 приведена зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления от числа  $M$  для существенно дозвуковых скоростей. Видно, что зависимость нелинейная, на малых числах  $M$  достигающее значение  $c_x > 2,0$ . Идентификация, проведенная по имеющимся обрывочным экспериментальным данным в целом подтвердила правильность расчетов.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента аэродинамического сопротивления для сферы. Сравнение расчетных данных с имеющимися экспериментальными данными показали неплохое согласование результатов для трансзвуковых скоростей в воздухе и обтекании вязкими потоками. Идентификация проводилась как по функциональной зависимости коэффициента  $c_x = f(M)$ , так и по углу отрыва вязкого потока.

Установлено, что дозвуковой диапазон скоростей можно разделить на несколько этапов: убывание  $c_x$  при ламинарном обтекании (до  $M = 0,1$ ); небольшое возрастание при переходных  $Re$  ( $M = 0,10...0,15$ ), дальнейшее снижение  $c_x$  при небольшой турбулентности ( $M = 0,15...0,40$ ), повы-

шение  $c_x$  при развитой турбулентности и сильное повышение  $c_x$  при трансзвуковых скоростях. При наличии подкру-

чивания пули «под себя»  $c_x$  возрастает, а в противоположном направлении – снижается [14–19].

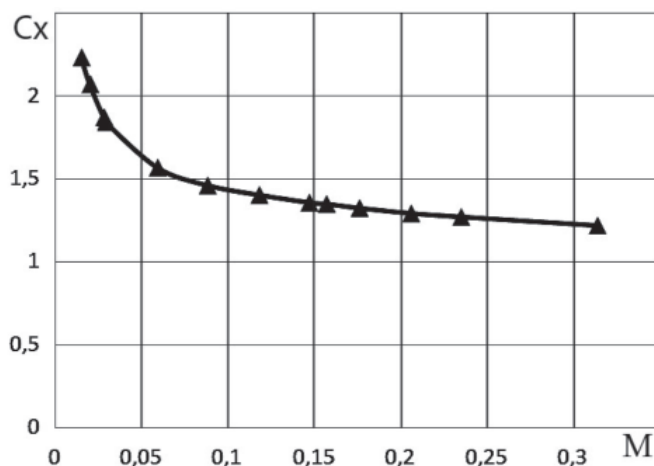


Рис. 1. Коэффициент аэродинамического сопротивления для стрелы

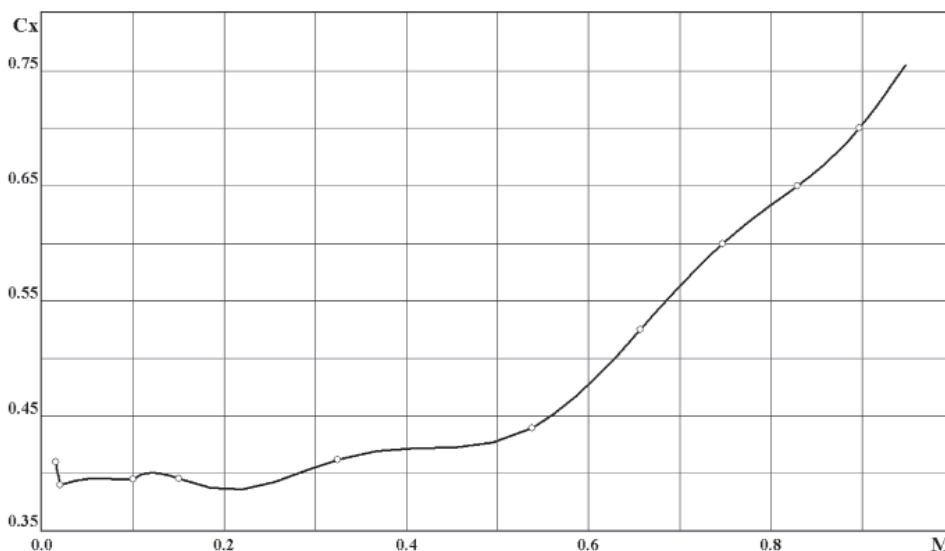


Рис. 2. Коэффициент аэродинамического сопротивления для сферы

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение естественнонаучных подходов в исторических исследованиях. Историческая реконструкция параметров технических систем (шифр «Стрела»): Отчет о НИР (промежуточ.) / Камский ин-т гуманитарных и инженерных технологий. КИГИТ; рук. Бусыгина Е.Л. – Ижевск, 2006. – 281 с. – Исполн.: Митюков Н.В., Коробейников А.В., Мокроусов С.А., Юртиков Р.А., Ганзий Ю.В. – № ГР 01.2006–1464. – Инв. № 17-2006.

2. Историческая реконструкция параметров технических систем (шифр «Стрела»): Отчет о НИР (заключ.) / Камский ин-т гуманитарных и инженерных технологий. КИГИТ; рук. Митюков Н.В. – Ижевск, 2006. – 140 с. – Исполн.: Коробейников А.В., Бусыгина Е.Л., Мокроусов С.А., Ганзий Ю.В. – № ГР 01.2006–1464. – Инв. № 06-2006.

3. Моделирование устойчивости магистрального трубопровода к воздействию низкоскоростных поражающих элементов: Отчет о НИР (заключ.) / Камский ин-т гуманитарных и инженерных технологий. КИГИТ; рук. Митю-

ков Н.В. – Ижевск, 2009. – 37 с. – Исполн.: Ганзий Ю.В., Салахов М.М. – Инв. № 41-2009.

4. Математическая модель гидроневоавтоматики: Отчет о НИР (заключ.) / Камский ин-т гуманитарных и инженерных технологий. КИГИТ; рук. Митюков Н.В. – Ижевск, 2010. – 53 с. – Исполн.: Бусыгина Е.Л., Мокроусов С.А., Ганзий Ю.В., Воротов А.В., Салахов М.М. – Инв. № 50-2009.

5. Воротов А.В., Ганзий Ю.В., Митюков Н.В. Специализированный калькулятор по расчету пробиваемой брони артиллерийским снарядом «Naval artillery penetration v.2.0» // ГР в ВНТИЦ 07.04.2008 № 50200800720. – Отраслевой фонд алгоритмов и программ 31.03.2008 № 10310. – Заявл. 20.03.2008 № .03524577.02404-01 99 01. // Реф. опубл. «Инновации в науке и образовании». – 2008. – № 3 (38).

6. Ганзий Ю.В., Нагуманов А.Ш., Митюков Н.В. Исследование аэродинамических характеристик снаряда при активном старте // 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.

7. Митюков Н.В., Ганзий Ю.В. К вопросу об аэродинамике низкоскоростных объектов // Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук: Тр. 53-й научной конференции МФТИ (22–29 ноября 2010 г.). Часть VI. Аэромеханика и летательная техника. – М.: МФТИ, 2010. – С. 88–89.

8. Ганзий Ю.В. Определение аэродинамических характеристик снаряда на начальном этапе полета при дозвуковых скоростях / Научн. руковод. Н.В. Митюков // Молодёжь и наука: сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. – URL: [http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/s19\\_10.pdf](http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/thesis/s19/s19_10.pdf).

9. Романенко И.В. Аэродинамика шарика на дозвуковых скоростях // Вестник КИГИТ. – 2011. – № 5 (18). – С. 39–41.

10. Митюков Н.В., Ганзий Ю.В. К вопросу о применимости ANSYS LS-DYNE для расчета движения в грунтах // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 1. – С. 121–122.

11. Ганзий Ю.В., Романенко И.В., Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л., Порцева Л.П. Применение пакета ANSYS в задачах исторической реконструкции // Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2012: Materiały VIII międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji (Przemysł, Polska, 07-15 czerwca 2012 roku). – Volume 33 Historia. Актуальные проблемы современных наук – 2012: Мат. VIII Международной научно-практической конференции (Пшемысль, Польша, 07-15 июня 2012 г.). – Т. 33. История. – Przemysl: Sp. z o.o. “Nauka I studia”, 2012. – Р. 45–46.

12. Ганзий Ю.В., Митюков Н.В. Математическое моделирование для решения задачи исторической реконструкции средневековых стрел // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА» (Новочеркасск, май-июль 2012 г.) / Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 12–13.

13. Ганзий Ю.В. Математическое моделирование для решения задачи исторической реконструкции средневековых стрел / Научн. руковод. Н.В. Митюков // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспи-

рантов в области информатики и информационных технологий: сб. науч. работ: в 3 т. – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – Т.1. – С. 412–416.

14. Ганзий Ю.В., Романенко И.В., Митюков Н.В. Об определении закона сопротивления сферы // Молодежная наука в развитии регионов: Мат. II Всерос. конф. студентов и молодых ученых с международным участием (Березники, 25 апреля 2012 г.). – Пермь: Березниковский филиал Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – С. 27-28.

15. Ганзий Ю.В., Романенко И.В., Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л. Законы сопротивления некоторых дозвуковых поражающих элементов // Самолетостроение в России: проблемы и перспективы: Мат. Симпозиума с международным участием. (Самара, 2–5июля 2012 г.). – Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2012. – С. 125–128.

16. Романенко И.В., Митюков Н.В. Историческая реконструкция параметров дульнозарядной гладкоствольной артиллерии // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов вузов «ЭВРИКА» (Новочеркасск, май-июль 2012 г.) / Мин-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т.(НПИ). – Новочеркасск: ЛИК, 2012. – С. 28–29.

17. Ганзий Ю.В., Романенко И.В. К вопросу об определении закона сопротивления сферы / Научн. руковод. Н.В. Митюков // Применение кибернетических методов в решении проблем общества XXI века: Тез. докл. X Межрегиональной научно-технической конференции студентов и аспирантов (Обнинск, 26–27 апреля 2012 г.). – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2012. – С. 72–73.

18. Романенко И.В. Математическое моделирование для решения задачи исторической реконструкции параметров дульнозарядной гладкоствольной артиллерии / Научн. руковод. Н.В. Митюков // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области информатики и информационных технологий: сб. науч. работ: в 3 т. – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – Т.1. – С. 266–272.

19. Митюков Н.В., Ганзий Ю.В., Романенко И.В. Программа идентификации параметров гладкоствольной артиллерии «Smoothbore» // ГР в ВНИИЦ 16.05.2012 № 50201250660. – ОФЭРНиО № 18173. Заявл. 15.04.2012 № .02076881.00745-01 99 01. // Реф. опубли. Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2012. – № 4 (35). – С. 28.