

Copyright © 2018 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 Vestnik policii
 Has been issued since 2014.
 E-ISSN: 2414-0880
 2018, 5(2): 35-44

DOI: 10.13187/vesp.2018.2.35
www.ejournal21.com



Technical Means

Ballistics of Low-Speed Striking Elements of Improvised Explosive Devices

Nicholas W. Mitiukov ^{a, b, c, d, *}, Elena L. Busygina ^e

^a International Network Center for Fundamental and Applied Research, Washington, USA

^b Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

^c Moscow Economic Institute, Russian Federation

^d Moscow Psychoanalyze Institute, Russian Federation

^e Izhevsk State Technical University, Russian Federation

Abstract

The calculations and experiments showed that the calculation of the ballistics of damaging elements of improvised explosive devices should be carried out on the maximum spread of two main arguments: for the sphere – its angular velocity, for the arrow - its angle of attack: the maximum "optimistic" and "pessimistic" option. The minimum parameters of the sphere are obtained in the case when it has a maximum angular velocity directed "under itself" (the angular velocity vector is directed to the left, if you look at the target). The maximum parameters are the maximum angular velocity "above itself" (the vector is directed to the right). The minimum parameters of the arrow are obtained at an angle of attack of 90°, maximum – at 0°.

Keywords: threat of terrorism, improvised explosive device, striking element, ballistics, aerodynamics, aerodynamic drag, risk.

1. Введение

В настоящее время проблема терроризма стала глобальным вызовом мировой цивилизации. Она превратилась в реалию, способную играть решающую роль в международной политике и оказывать существенное влияние на международные отношения. Никто не застрахован от террористического акта и потому устойчивость конструкций к возможному воздействию поражающих факторов самодельного взрывного устройства (СВУ) становится насущной задачей.

Анализ статистики террористических актов позволяет утверждать, что наиболее существенное влияние на технические объекты оказывают поражающие элементы СВУ. Но существующие методики оценки этого воздействия базируются на статистике по штатным армейским боеприпасам, в то время, как СВУ обладают набором специфических черт, из-за чего существующие методики дают слишком большую погрешность. С одной стороны, это низкие скорости полета, зачастую не выходящие из звукового диапазона, а с

* Corresponding author

E-mail addresses: nico02@mail.ru (N.W. Mitiukov)

другой – импровизированные формы поражающих элементов, характеризующиеся широким спектром возможной геометрии.

При моделировании движения ракет, снарядов и пуль особое внимание традиционно уделялось обтеканию в трансзвуковом и сверхзвуковом потоке. В результате аэродинамические и баллистические характеристики дозвуковых тел получаются в результате экстраполяции соответствующих параметров на низкоскоростной диапазон, со свойственным этому подходу высокой погрешностью. Для ракет, снарядов и пуль это имеет смысл, поскольку дозвуковой участок полета вносит крайне незначительный вклад в общие характеристики. У ракет он присутствует на начальном этапе в момент схода с направляющих или выхода из транспортно-пускового контейнера, и его влияние легко корректируется в дальнейшем полете. А снаряды и пули имеют дозвуковые скорости, находясь на излете, и эффективность их поражения в этом случае традиционно не рассматривается.

Для наполнения СВУ обычно используют подручные материалы: куски проволоки, крепежные элементы (болты, гайки, гвозди), шарики от подшипников и т.д., обладающие нетривиальной геометрией. Но все эти формы можно свести к двум морфологическим группам: «сфера» и «стрела» (тип «пластина» в СВУ обычно не используется). Но, несмотря на обилие экспериментальных данных по аэродинамике тел типа «стрела» и «сфера», выясняется, что аэродинамические коэффициенты меняются в довольно широком диапазоне.

2. Обсуждение

Типы поражающих элементов СВУ

СВУ обычно начиняются самыми доступными материалами. Это могут быть обрезки проволоки, крепежные элементы (болты, гайки, гвозди и т.п.), шарики от подшипников, стальные обрезки. Общая их черта состоит в том, что это, как правило, компактные и относительно тяжелые элементы. Например, стружка имеет большие габариты и небольшую массу, а потому при подрыве взрывного устройства она будет быстро тормозиться атмосферой, имея крайне небольшой убойный радиус, а потому для этой цели она не используется.

По относительным габаритам поражающие элементы можно разделить на три класса: типа сферы, пластины и стрелы. Для первого типа характерно равенство или примерное равенство всех трех габаритов (это, например, шарики от подшипников, гайки). Тип пластины имеет один габарит намного меньший двух других – это пластины, шайбы и т.д. Наконец, тип стрела характерен, когда один габарит намного больше двух других, как это имеет место у гвоздей, шурупов, штырей, обрезков проволоки.

Для боевых поражающих элементов характерны все три типа. Тип пластина получается, например, при разрыве разрушающейся оболочки, не имеющей насечек. Из-за этого возникает один-два крупных осколка, имеющих форму пластины. Для увеличения количества осколков оболочку снабжают насечкой, что дает примерно одинаковые габариты осколков, которые по форме уже будут более соответствовать типу сферы. Несчастные случаи, сопровождающиеся разрывом баллонов и сосудов, находящихся под давлением, также могут давать осколки пластинчатого типа. Однако для самодельных взрывных устройств разрывающаяся оболочка практически не используется из-за трудоемкости изготовления.

Как показал анализ литературы, аэробаллистическую информацию о каждом типе поражающих элементов можно взять из четырех групп источников:

1. Эмпирико-статистические методики аэродинамического расчета.
2. Опубликованные баллистические данные.
3. Опубликованные эмпирические данные по аэродинамическим испытаниям.
4. Трехмерное моделирование обтекания тел известной формы.

Несмотря на казалось бы использование одних и тех же или похожих исходных форм тел, аэробаллистические данные по всем группам источников существенно различаются.

Аэробаллистические характеристики элементов типа «сфера»

Традиционная методика оценки пенетрационных свойств поражающих элементов изложена в работе А.В. Бабкина и др. (Бабкин, 2008). Она предполагает решение уравнения движения отдельного поражающего элемента, а поскольку наибольшую опасность представляют собой поражающие элементы, имеющие настильную траекторию, влиянием силы тяжести пренебрегается. Этот подход дает возможность получения аналитического решения для определения безопасных расстояний. Но как оказал проведенный анализ, в литературе имеется несколько законов коэффициента аэродинамического сопротивления от Маха $c_x(M)$ для сферы, дающих расхождение до 20–30 % (Рисунок 1).

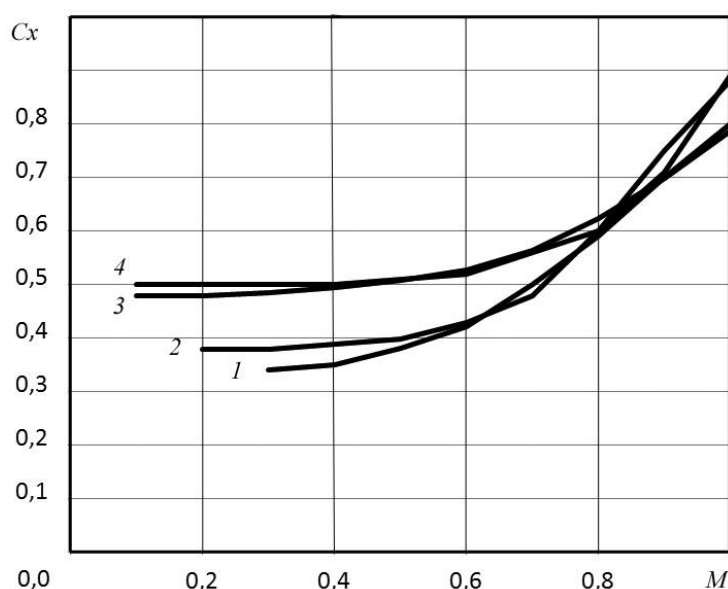


Рис. 1. Сравнение основных экспериментальных данных по c_x сферы: 1 – данные Эли (Вентцель, 1939), 2 – данные Журне (Вентцель, 1939), 3 – закон сопротивления «Sphere» (Jurens, 1984), 4 – данные Бабкина и др. (Бабкин, 2008)

Поскольку в литературе информация о влиянии вращения сферы на ее баллистические параметры отсутствует, для определения аэродинамических характеристик вращающейся сферы была проведена серия расчетов в пакете ANSYS CFX (Ганзий, 2013а), позволившая определить коэффициенты аэродинамического сопротивления c_x и подъемной силы c_y . Результаты расчетов сведены в рис. 2. и 3. После этого в разработанном в среде Basic программном пакете было проведено моделирование полета вращающейся сферы с учетом подъемной силы и определялась дальность. Затем путем обратного баллистического расчета определялся коэффициент для формы невращающегося снаряда, дающий точно такие же баллистические характеристики (Митюков, 2016). Результаты расчетов представлены в табл. 1 и 2.

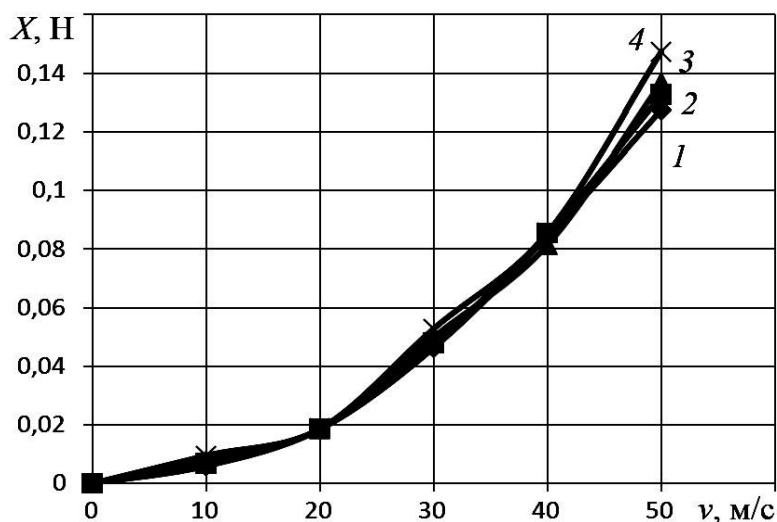


Рис. 2. Изменение силы лобового сопротивления от скорости и угловой скорости сферы (1 – 0 с⁻¹, 2 – 5 с⁻¹, 3 – 10 с⁻¹, 4 – 15 с⁻¹)

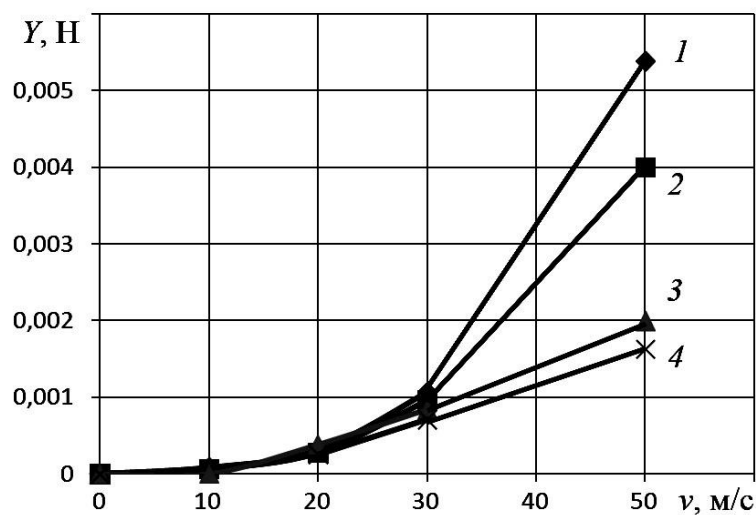


Рис. 3. Изменение подъемной силы от скорости и угловой скорости (1 – 15 с⁻¹, 2 – 10 с⁻¹, 3 – 5 с⁻¹, 4 – 4 с⁻¹)

Таблица 1. Результаты расчета дальности с учетом вращения сферы

v, м/с	ω, 1/с	θ ₀		
		10°	30°	50°
30	0	59,86	100,28	92,85
	5	59,86	100,30	92,85
	10	59,86	100,30	92,85
	15	59,87	100,30	92,85
50	0	134,55	278,71	293,28
	5	134,62	278,82	293,32
	10	134,71	278,95	293,33
	15	134,77	279,06	293,35
70	0	247,22	605,11	715,60
	5	247,45	605,83	716,06
	10	247,82	607,02	716,74
	15	248,10	607,90	717,25

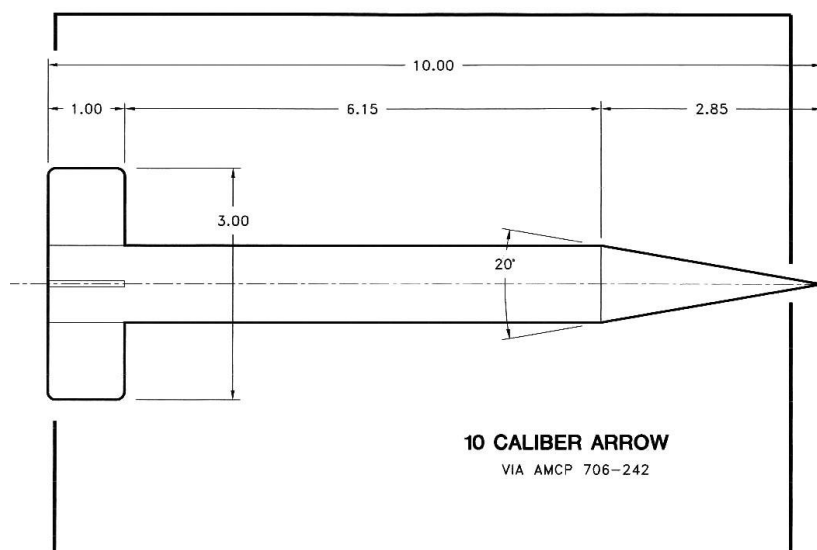
Таблица 2. Отклонение коэффициента формы за счет влияния эффекта Магнуса

v , м/с	ω , 1/с	θ_0		
		10°	30°	50°
30	5	0%	0,6%	0%
	10	0%	0,6%	0%
	15	2,0%	0,6%	0%
50	5	2,0%	0,4%	0,1%
	10	5,0%	0,8%	0,1%
	15	7,0%	1,1%	0,1%
70	5	1,4%	0,4%	0,1%
	10	3,8%	1,1%	0,3%
	15	5,6%	1,5%	0,4%

Как видно из [Таблицы 2](#), в диапазоне скоростей до 70 м/с максимальное влияние эффекта Магнуса соответствует максимальным скоростям и растет с увеличением угловых скоростей. Наибольшим образом эффект Магнуса влияет на настильные траектории (т.е. расчетный случай, описанный Бабкиным как наиболее опасный), в меньшей – на навесные. Для скорости 70 м/с, угловой скорости 15 об/с, и начальном тангаже 10° изменение коэффициента формы достигает 5,6 %.

Аэробаллистические характеристики элементов типа «стрела»

В ходе анализа литературы было найдено несколько методик определения аэродинамических параметров оперенных тел вращения. Для выявления их сравнительной точности были определены по ним коэффициент $c_x(M)$ для американского стандарта формы «Arrow» ([Рисунок 4](#)), для которого имеются экспериментальные данные ([Jurens, 1984](#)). Некоторые из них, наиболее совпадающие с экспериментом, приведены на рис. 5. Но и по ним степень совпадения в лучшем случае составляет 10-20 % ([Касаткин, 2014](#)).

**Рис. 4.** Стандарт формы «Arrow» ([Jurens, 1984](#))

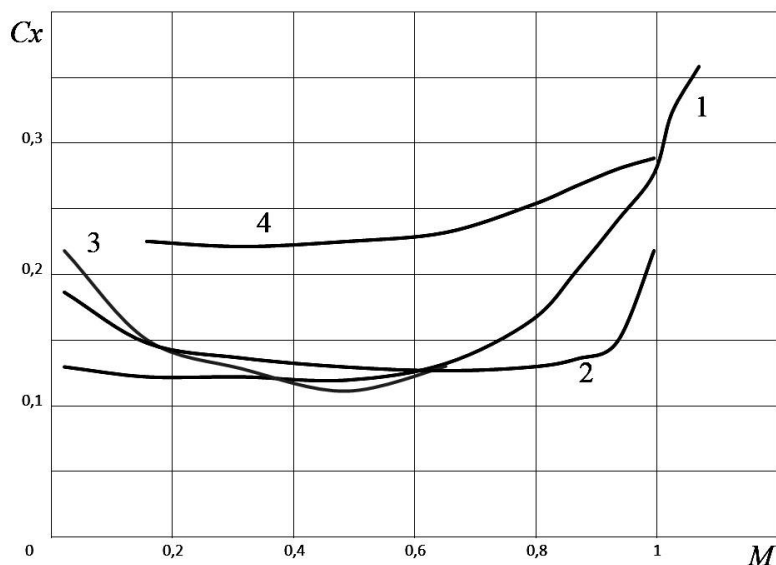


Рис. 5. Сравнение результатов расчета по некоторым эмпирико-аналитическим методикам со стандартом ARROW (Jurens, 1984): 2 – методика Р.В. Сидельникова, А.Б. Тропина (Сидельников, 1997), 3 – методика С.И. Зонштайна и др. (Белов, 1974); 4 – методика С.Н. Храмова (Храмов, 1981)

Для определения значений коэффициента аэродинамического сопротивления c_x стрелы выполнено аэродинамическое моделирование в дозвуковом диапазоне скоростей в системе ANSYS CFX с целью натурального подтверждения результатов (Митюков, 2014).

В результате моделирования для заданного диапазона скоростей движения стрелы получены аэродинамические параметры: X_a и c_x – сила и коэффициент аэродинамического сопротивления, которые использовались для определения баллистических параметров стрелы: ускорения с учетом силы аэродинамического сопротивления dv/dt ; дальность полета L . На рис. 6 приведена расчетная зависимость $c_x(M)$.

Для экспериментального подтверждения результатов аэродинамического моделирования и вычисленных баллистических параметров изготовлен лук и проведена серия натуральных экспериментов, при том же угле тангажа θ со стрелой типа Predator 2 фирмы Carbon express.

В ходе баллистических экспериментов фиксировалась дальность полета L стрелы при заданных начальных углах возвышения θ_0 и хода тетивы x . После этого сравнивались значения дальности полета стрелы, рассчитанные аналитическим путем с экспериментальными. Баллистический эксперимент проводился при температуре окружающего воздуха $+20^\circ\text{C}$. Для компенсации случайных порывов ветра, направление стрельбы половины выстрелов изменялось на 180° . Выстрел осуществлялся с высоты $h = 1,6$ м от поверхности земли (Ганзий, 2013b).

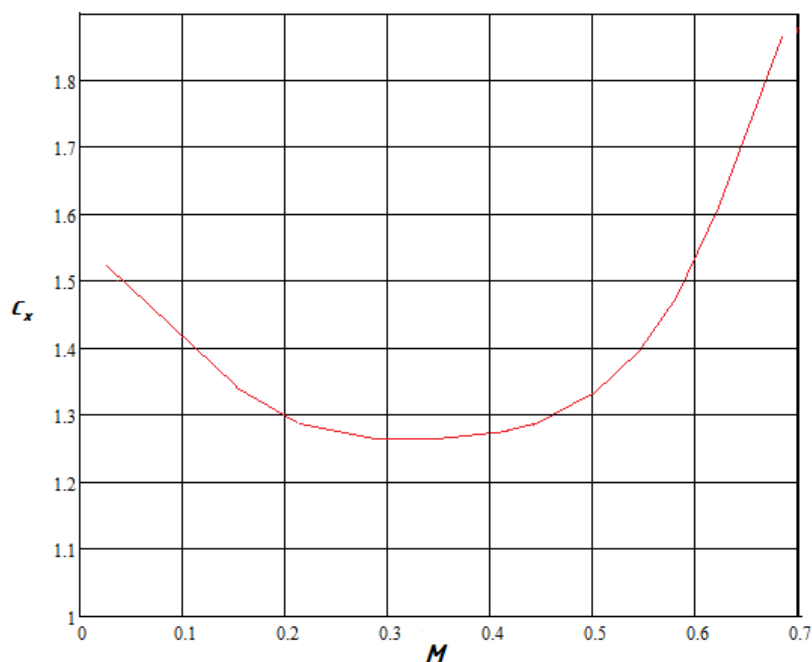
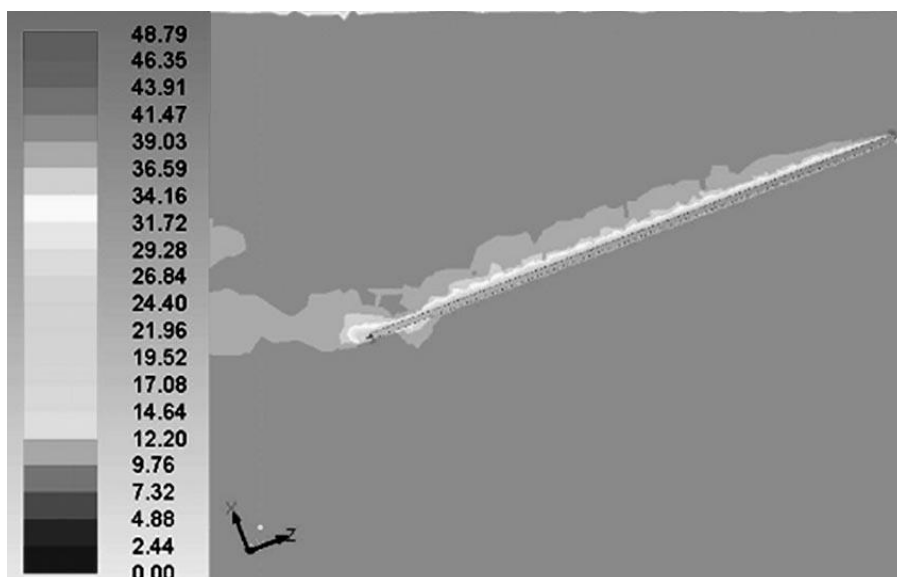


Рис. 6. Зависимость $c_x(M)$ для исследуемой стрелы

Но результаты эксперимента и расчеты, проведенные в программе, написанной в среде Basic по аэродинамическим параметрам, определенным в ANSYS CFX показали их существенное несоответствие (порядка 20-30 %). Съемка летящей стрелы показала, что в полете она совершает разнообразные колебания. Все это ведет к существенному увеличению аэродинамического сопротивления.

Для оценки этого явления было проведено моделирование в среде ANSYS CFX обтекания стрелы типа Predator 2 со стальным наконечником на больших углах атаки (Рис. 7).



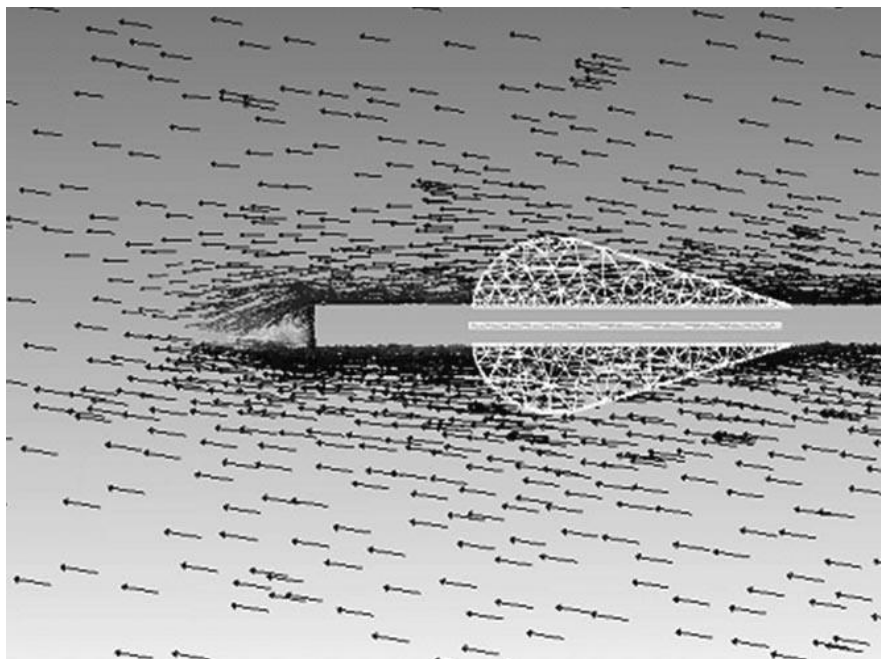


Рис. 7. Поле скоростей и направление векторов скоростей стрелы на скорости 40 м/с и углом атаки 20°

Расчеты показали, что при скорости 40 м/с и угле атаки 10° коэффициент аэродинамического сопротивления составляет 0,211, а при 20° – 0,378, что вполне согласуется с натурными экспериментами (Ганзий, 2016).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что при расчете поражающего элемента типа «стрела», конкретные его размеры (и в том числе головная часть, оптимизации которой уделяется много внимания) оказывают незначительное влияние на аэродинамику. Коэффициент c_x полностью определяется углом атаки, а значит начальными условиями, т.е., например, схемой подрыва СВУ.

3. Заключение

При расчете воздействия на цель поражающих элементов СВУ необходимо внести коррекцию в существующие методики, применяемые для штатных взрывных устройств. Это влияние сводится к следующему:

1. При расчете поражающих элементов типа «сфера» за счет влияния эффекта Магнуса следует на 10-20 % уменьшить коэффициент аэродинамического сопротивления, как наиболее неблагоприятный случай.

2. При расчете поражающих элементов типа «стрела» первостепенное значение при аэродинамическом расчете имеет большие углы атаки. Из-за этого формулы без его учета дают сильно завышенный результат. Вероятность того, что поражающий элемент будет иметь нулевой угол атаки крайне низка, и наоборот, наиболее вероятно осцилляция угла атаки в полете. Коэффициент аэродинамического сопротивления будет полностью определяться углом атаки, поэтому оптимизация геометрии для улучшения аэродинамики элементов типа «стрела» не имеет смысла.

Литература

Бабкин, 2008 – Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. Средства поражения и боеприпасы. М. 2008. 984 с.

Белов, 1974 – Белов Г.В., Зонштайн С.И., Оскерко А.П. Основы проектирования ракет: Учебн. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1974. 256 с.

Вентцель, 1939 – Вентцель Д.А., Шапиро Я.М. Внешняя баллистика. В 3-х ч. Ч. 1. М.; Л.: Оборонгиз, 1939. 210 с.

Ганзий, 2013а – Ганзий Ю.В., Митюков Н.В. К вопросу об аэродинамике снаряда для пращи // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 5. С. 172-173.

Ганзий, 2013б – Ганзий Ю.В. Экспериментально-расчетное исследование аэробаллистики стрел // *Вестник ИжГТУ*. 2013. № 2. С. 133-134.

Ганзий, 2016 – Ганзий Ю.В. Моделирование полета стрелы при больших углах атаки // *Первый шаг в науку*. 2016. № 5-6 (17-19). С. 10-11.

Касаткин, 2014 – Kasatkin T.A. Comparison of Analytical Methods for Calculating of Subsonic Aerodynamic Submunitions Standard Arrow // *European Journal of Technology and Design*. 2014. Vol. 6. № 4. P. 173–175. DOI: 10.13187/ejtd.2014.6.173

Митюков, 2014 – Mitiukov N.V., Ganzu 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/ejtd.2014.4.81.

Митюков, 2016 – Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л., Ганзий Ю.В. О степени влияния эффекта Магнуса на баллистические характеристики вращающегося сферического поражающего элемента // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2016. № 11-12. С. 63-67.

Сидельников, 1997 – Сидельников Р.В., Тропин А.Б. Аэродинамика ракет. Расчеты и исследования аэродинамических характеристик летательных аппаратов на ЭВМ: Учебн. пособие для вузов. Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1997. 55 с.

Храмов, 1981 – Храмов С.Н. Методические указания к аэродинамическому расчету. Ижевск: ИМИ, 1981. 24 с.

Jurens, 1984 – Jurens W.R. Exterior Ballistic with Microcomputers // *Warship International*. 1984. № 1. pp. 49–72.

References

Babkin, 2008 – Babkin, A.V., Veldanov, V.A., Gryaznov, E.F. (2008). Sredstva porazheniya i boepripyas [Means of destruction and ammunition]. M. 984 p. [in Russian]

Belov, 1974 – Belov, G.V., Zonshtajn, S.I., Oskerko, A.P. (1974). Osnovy proektirovaniya raket: Uchebn. posobie dlya vuzov [Fundamentals of missile design: Training. manual for universities]. M.: Mashinostroenie. 256 p. [in Russian]

Ganzij, 2013a – Ganzij, Yu.V., Mityukov, N.V. (2013). K voprosu ob aehrodinamike snaryada dlya prashchi [On the aerodynamics of a sling projectile]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. № 5. pp. 172-173. [in Russian]

Ganzij, 2013b – Ganzij, Yu.V. (2013). Ekhspierimental'no-raschetnoe issledovanie aehrobolistiki strel [Experimental and design study of arrow aerobolistics]. *Vestnik IzhGTU*. № 2. pp. 133-134. [in Russian]

Ganzij, 2016 – Ganzij, Yu.V. (2016). Modelirovanie poleta strely pri bol'shiih uglah ataki [Simulation of the flight of an arrow at high angles of attack]. *Pervyj shag v nauku*. № 5-6 (17-19). pp. 10-11. [in Russian]

Hramov, 1981 – Hramov, S.N. (1981). Metodicheskie ukazaniya k aehroodinamicheskomu raschetu [Guidelines for aerodynamic calculation]. Izhevsk: IMI. 24 p. [in Russian]

Jurens, 1984 – Jurens, W.R. (1984). Exterior Ballistic with Microcomputers. *Warship International*. № 1. pp. 49–72.

Kasatkin, 2014 – Kasatkin, T.A. (2014). Comparison of Analytical Methods for Calculating of Subsonic Aerodynamic Submunitions Standard Arrow. *European Journal of Technology and Design*. Vol. 6. № 4. pp. 173–175. DOI: 10.13187/ejtd.2014.6.173

Mityukov, 2014 – Mitiukov, N.V., Ganzu, Y.V., Busygina, E.L. (2014). Identification of Subsonic Aerodynamic Parameters Damaging Elements. *European Journal of Technology and Design*. Vol. 4. № 2. pp. 81–85. DOI: 10.13187/ejtd.2014.4.81

Mityukov, 2016 – Mityukov, N.V., Busygina, E.L., Ganzij, Yu.V. (2016). O stepeni vliyanija ehffekta Magnusa na ballisticheskie harakteristiki vrashchayushchegosya sfericheskogo porazhayushchego ehlementa [On the degree of influence of the Magnus effect on the ballistic characteristics of a rotating spherical damaging element]. *Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu*. № 11-12. pp. 63-67. [in Russian]

Sidel'nikov, 1997 – Sidel'nikov, R.V., Tropin, A.B. (1997). Aehrodinamika raket. Raschety i issledovaniya aehrodinamicheskikh harakteristik letatel'nyh apparatov na EHM: Uchebn. posobie dlya vtuzov [Aerodynamics of rockets. Calculations and studies of the aerodynamic characteristics of aircraft on a computer: Training. manual for technical colleges]. Chelyabinsk: Izd. CHGTU. 55 p. [in Russian]

Ventcel', 1939 – Ventcel', D.A., Shapiro, Ya.M. (1939). Vneshnyaya ballistika [External ballistics. In 3 hours]. V 3-h ch. Ch. 1. M.; L.: Oborongiz. 210 p. [in Russian]

Баллистика низкоскоростных поражающих элементов самодельных взрывных устройств

Николай Витальевича Митюков ^{a, b, c, d, *}, Елена Леонидовна Бусыгина ^e

^a International Network Center for Fundamental and Applied Research, Washington, USA

^b Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация

^c Московский экономический институт, Российская Федерация

^d Московский институт психоанализа, Российская Федерация

^e Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, Российская Федерация

Аннотация. Проведенные расчеты и эксперименты показали, что расчет баллистики поражающих элементов самодельных взрывных устройств стоит проводить по максимальному разбросу двух основных аргументов: для сферы – ее угловой скорости, для стрелы – ее угла атаки: максимальные «оптимистичный» и «пессимистичный» вариант. Минимальные параметры сферы получаются с том случае, когда она имеет максимальную угловую скорость направленную «под себя» (вектор угловой скорости направлен влево, если смотреть на цель). Максимальные параметры – максимальная угловая скорость «над собой» (вектор направлен вправо). Минимальные параметры стрелы получаются при угле атаки равном 90°, максимальные – при 0°.

Ключевые слова: угроза терроризма, самодельное взрывное устройство, поражающий элемент, баллистика, аэродинамика, аэродинамическое сопротивление, риск.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: nico02@mail.ru (Н.В. Митюков)