

Аэрокосмический научный журнал

Сетевое научное издание
МГТУ им. Н.Э. Баумана
<http://aerospjournal.ru>

Ссылка на статью:

// Аэрокосмический научный журнал.
МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015.
№ 05. С. 38–48.

DOI: **10.7463/aersp.0515.0819074**

Представлена в редакцию: 09.08.2015

Исправлена: 23.08.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 623.546

Экспериментальные исследования влияния формы головной части пули на характеристики рассеивания при дозвуковых скоростях полёта

Илюхин С. Н.^{1,*}, Москаленко В. О.¹,

[*iljukhin.stepan@rambler.ru](mailto:iljukhin.stepan@rambler.ru)

Хлупнов А. И.¹

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Предметом работы являются экспериментальные исследования и анализ результатов рассмотрения влияния формы головной части пули на точностные параметры стрелковой системы с дозвуковой начальной скоростью. Подробно рассмотрены проведённые внешнебаллистические и аэродинамические опыты, описаны экспериментальные установки, а также дано теоретическое обоснование полученной физической картины. Описана корреляция характеристик рассеивания неуправляемых летательных аппаратов от типа затупления их головной части. На основании полученных данных выработаны некоторые рекомендации, представляющие интерес для инженерных работников и специалистов в области стрелковой баллистики.

Ключевые слова: баллистическая трасса, аэродинамическая труба, пуля, рассеивание

Введение

Точность попадания летательного аппарата (ЛА) в заданную область пространства, а в более широком понимании – величина возможного отклонения всего вектора состояния ЛА от номинальных значений в каждый рассматриваемый момент времени, без сомнений, является крайне важным параметром любой баллистической задачи. Попадание боевой ракеты, артиллерийского или стрелкового снаряда в область прицеливания, выход разгонного блока с КА на орбиту выведения, падение частей ракеты-носителя в заданные районы – всё это определяет эффективность всей эксплуатируемой системы. Именно благодаря этому точностные характеристики полёта ЛА входят в состав основных лётно-технических характеристик (ОЛТХ) и требуют максимальной своей оптимизации, являясь зачастую и составляющими тактико-технических требований (ТТТ).

Точность управляемых ЛА целиком зависит от характеристик соответствующих систем наведения, навигации, стабилизации и ориентации [9]. Корректируемые ЛА, ввиду ограниченности системы коррекции, обладают меньшей точностью, однако и более простой аппаратной и алгоритмической реализацией [10].

Однако неуправляемые ЛА, к которым относятся и пули стрелкового оружия, не обладают механизмами контроля и коррекции своего вектора состояния. В результате этого, отклонение ЛА от номинальной траектории определяется лишь двумя основными семействами возмущающих факторов: отклонение вектора состояния ЛА в момент пуска и внешние возмущения, действующие на него в полёте.

К первому семейству относятся как асимметрии конкретного изделия, отклонения его массовых и габаритных параметров от расчётных, так и отличия начального вектора скорости ЛА от номинального значения. Ко второму семейству относятся все внешние факторы, как то ветровая нагрузка, нерасчётные режимы обтекания, любые неучтённые возмущения. И если минимизация эффектов от первой группы факторов является вполне детерминированной инженерной задачей, то парирование случайных возмущений в полёте для пуль является невыполнимой задачей.

Поэтому основным направлением работы в этой области является повышение устойчивости пули, что значительно снижает величину влияния возмущений на полёт. Подразумевается как статическая устойчивость ЛА, у которого центр масс находится ближе к носку, чем центр давления, вследствие чего аэродинамический момент препятствует появлению угла атаки, так и динамическая устойчивость, определяющееся гироскопическим эффектом при закрутке ЛА вокруг его продольной оси [2].

Постановка задачи

Но существуют и менее известные широкому кругу явления, позволяющие значительно повысить точность стрелковой или артиллерийской системы. В частности, на дозвуковых скоростях полёта большое влияние на характеристики рассеивания может оказывать форма головной части пули. Однако теоретические и экспериментальные исследования сложных форм головных частей с частичным отрывом потока с боковой поверхности а также оценки характеристик их рассеивания на дозвуковых скоростях практически отсутствуют [6,7].

В связи с этим была выявлена необходимость проведения частного цикла экспериментальных исследований и анализа влияния формы головной части пули на точностные параметры стрелковой системы с дозвуковой начальной скоростью. Для этого были проведены баллистические исследования серии пуль таких форм и визуализация обтекания их моделей в дозвуковой аэродинамической трубе методом «шелковинок».

Испытания проводились в лабораториях кафедры СМ-3 МГТУ им. Н. Э. Баумана. В качестве исследуемых образцов рассматривались свинцовые пули для пневматического оружия калибром 4.5 мм равной массы и равной геометрической компоновки, различающиеся лишь формой головной части. Центральная часть представляла собой сужающийся

конус, а хвостовая – полый расширяющийся конус. Для продувок в аэродинамической трубе были созданы их модели в масштабе 10:1. В качестве образцов для сравнительного анализа рассматривались пули с семью типами головных частей:

- а) Головная часть типа «плоский торец»,
- б) Головная часть в виде конуса,
- в) Головная часть со сферическим затуплением радиусом 2.2 мм,
- г) Головная часть со сферическим затуплением радиусом 2.3 мм,
- д) Головная часть со сферическим затуплением радиусом 2.6 мм,
- е) Головная часть в виде конуса с проточкой по периметру,
- ё) Головная часть в виде конуса с «чашей» по периметру,

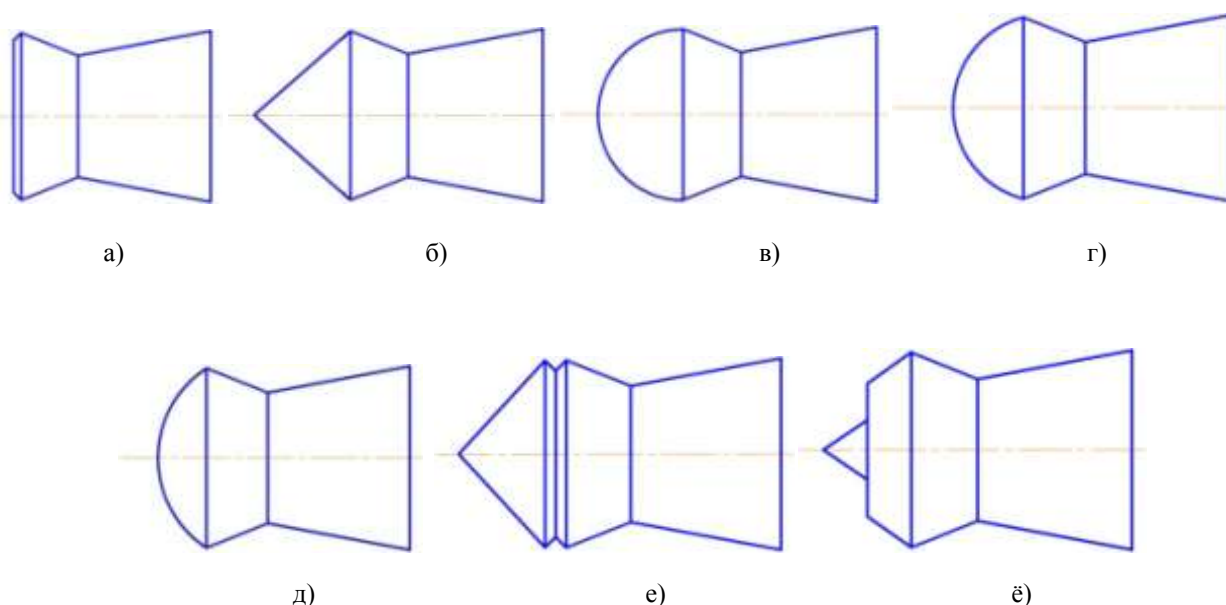


Рис. 1. Разновидности исследуемых типов пуль.

Баллистические исследования

Первыми в серии экспериментов были баллистические испытания, в рамках которых проводилась стрельба серией из 10-ти образцов на дистанцию 10 метров из двух типов отечественного пневматического оружия. Первым типом оружия являлась винтовка с длиной ствола 400 мм и дульной энергией 4 Дж, вторым типом являлся пистолет с длиной ствола 100 мм и дульной энергией 2 Дж. Шаг нарезов стволов обоих систем равен 450 мм.

Стрелковые эксперименты проводились на большой баллистической трассе кафедры СМ-3, имеющей длину 33.8 метра и диаметр 0.8 метра [1].

Баллистическая трасса – это специально оборудованная стрелковая трасса, позволяющая в полигонных или лабораторных условиях производить стрельбу специальными моделями, пулями, снарядами для исследования процесса свободного полёта летательного аппарата (ЛА) и для экспериментального определения [3]:

- скорости ЛА в одной или нескольких точках траектории;
- аэродинамических характеристик натуральных образцов и моделей;
- параметров поступательного и вращательного движения ЛА;
- характеристик устойчивости и динамического качества натуральных образцов и моделей;
- характеристик рассеивания точек попадания;
- параметров деривации при проведении стрельб из нарезного оружия.

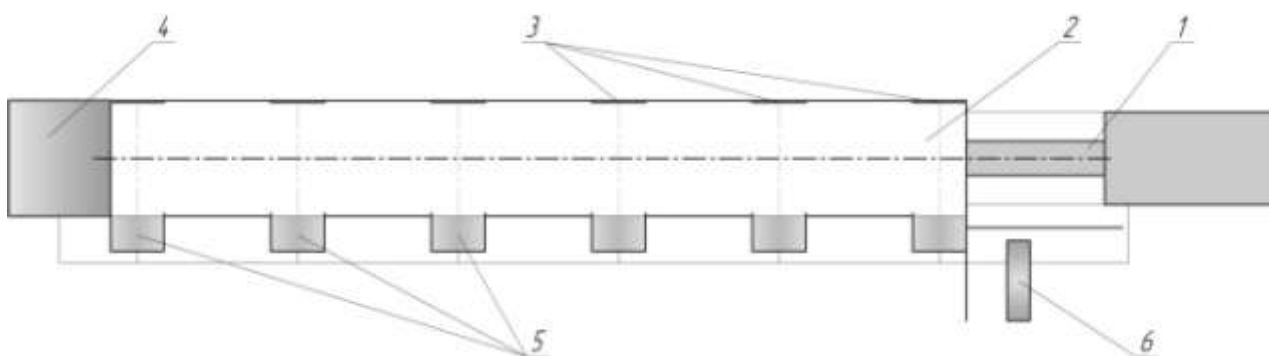


Рис. 2. Принципиальная схема баллистической трассы: 1 - пусковая установка; 2 - трасса; 3 - экраны; 4 - уловительное устройство; 5 - смотровые окна, освещение, измерительная и регистрирующая аппаратура; 6 - вычислительный комплекс, устройства контроля и синхронизации.

Основным преимуществом баллистических установок является экспериментально проводимый реальный полёт ЛА. Происходит исследование полноценного процесса движения и определяются суммарные характеристики, что невозможно при цифровом моделировании. Недостатками баллистических установок являются однократное использование ЛА, так как после каждого выстрела модель обычно разрушается, а также небольшие размеры снарядов и изменение углов атаки модели в ограниченных пределах.

Ствол используемого оружия жестко закреплялся в специальном станке, точка прицеливания для каждой выборки и всей серии выстрелов являлась неизменной.

По результатам эксперимента были получены выборки попаданий в плоскости мишени и был произведён их частичный статистический анализ [8]. В качестве критерия рассеивания принималась дисперсия выборки по поперечной оси целевой системы координат. Данная ось для сравнительного анализа была выбрана с тем правомерным допущением, что на рассеивание по этой оси влияние нестабильности значения начальной скорости от выстрела к выстрелу является минимальным. Для удобства проведения анализа было проведено нормирование всех численных результатов по дисперсии образца № 1 и первого типа пусковой установки.

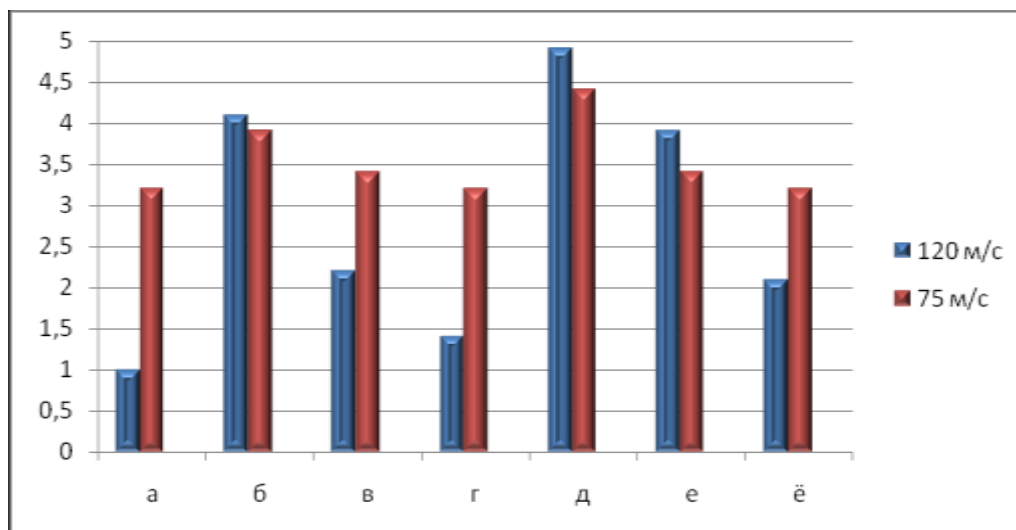


Рис. 3. Дисперсии рассеивания полученных выборок по каналу $Z_{ц}$.

По результатам серии баллистических экспериментов выявлено, что наименьшим рассеиванием обладают пули с плоской головной частью, которая, между тем, даёт и максимальное лобовое сопротивление. При этом пуля с конусной головной частью, обладающая наименьшим аэродинамическим сопротивлением, показала практически худшие точностные параметры. Большую дисперсию имеет лишь ЛА со сферическим затуплением радиуса 2.6 мм. При этом образцы со сферическим затуплением (в) и г) имели относительно низкую дисперсию, причём при увеличении радиуса затупления точность возрастала. Образец е) показал, что проточка у конусной головной части несколько снижает рассеивание, а наличие «чаши у конусной головной части, также называемой «короной», значительно повышает точность, приблизительно сравниваясь с характеристиками образца в). Стрельбы из второго типа оружия выявили ту же качественную картину, тем не менее, значительно «выровненную» по количественным показателям.

В первом приближении можно отметить некую прямую зависимость между значением лобового сопротивления и точностью стрельбы с конкретной пулей. Однако при такой постановке возникают несколько серьезных экспериментальных противоречий, в частности картина выборки попаданий образца д). К тому же подобная взаимосвязь не имеет физического обоснования, потому исследования были продолжены. Для объяснения полученной картины была проведена серия продувки моделей пуль в дозвуковой аэродинамической трубе.

Аэродинамические исследования

В результате этого эксперимента были получены картины визуализации течения в окрестности моделей исследуемых образцов пуль в дозвуковой аэродинамической трубе Т-500 кафедры СМ-3 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Установка Т-500 является малотурбулентной аэродинамической трубой замкнутого типа с открытой рабочей частью и плавно регулируемой скоростью потока [4,5]. Она имеет следующие рабочие характеристики:

1. Диапазон изменения скорости потока в рабочей части 8-55 м/с,

2. Степень турбулентности потока 0,15 %,
3. Размер выходного сечения сопла 0.5x0.5 м,
4. Длина рабочей части 1 м,
5. Мощность двигателя вентиляторной установки 45 кВт.



Рис. 4. Рабочая часть дозвуковой аэродинамической трубы

Визуализация течения в окрестности моделей проводилась с помощью метода «шелковинки». Шелковинки были наклеены на поверхности исследуемых моделей пули в их вертикальной плоскости симметрично главной оси. Модель размещалась под заданным углом атаки α в рабочей части аэродинамической трубы на донной державке, закреплённой в координатнике. Испытания проводились при постоянной скорости набегающего потока $V_\infty = 30$ м/с и при углах атаки $\alpha = 0, 3, 5$ градусов. На каждом угле атаки картина течения фиксировалась при помощи фотосъёмки.

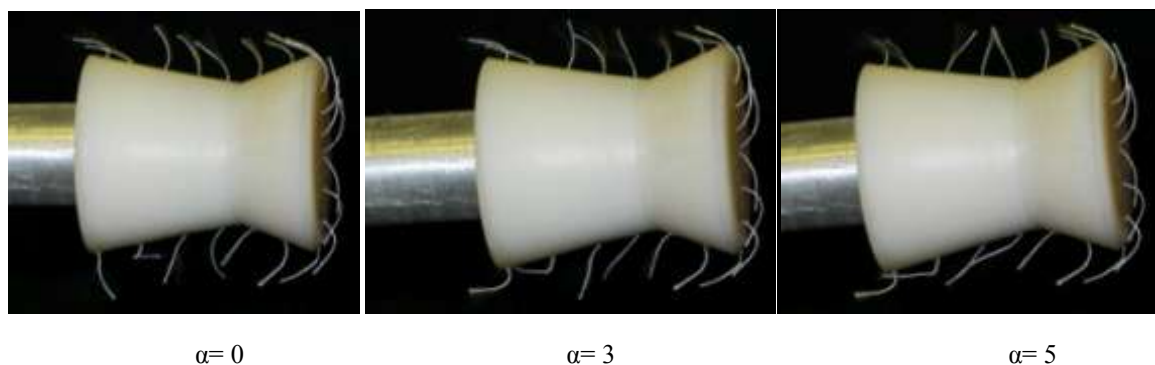


Рис. 5. Обтекание модели пули а) дозвуковым потоком при различных углах атаки.



$\alpha=0$

$\alpha=3$

$\alpha=5$

Рис. 6. Обтекание модели пули б) дозвуковым потоком при различных углах атаки.

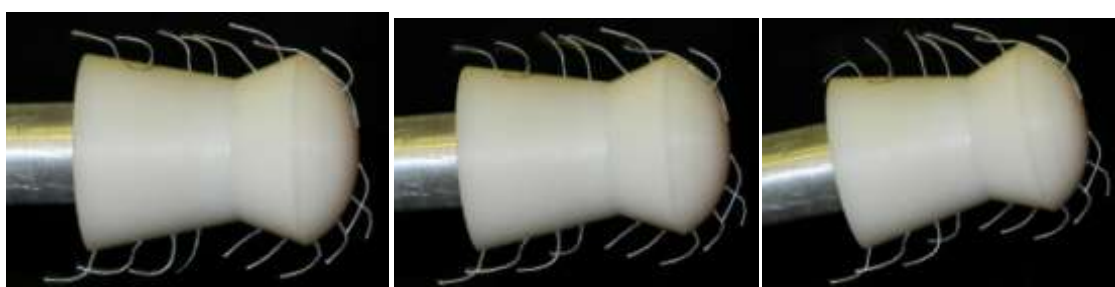


$\alpha=0$

$\alpha=3$

$\alpha=5$

Рис. 7. Обтекание модели пули в) дозвуковым потоком при различных углах атаки.



$\alpha=0$

$\alpha=3$

$\alpha=5$

Рис. 8. Обтекание модели пули д) дозвуковым потоком при различных углах атаки.



$\alpha=0$

$\alpha=3$

$\alpha=5$

Рис. 9. Обтекание модели пули е) дозвуковым потоком при различных углах атаки.

На рисунках 5-9 представлены фотографии картин обтекания некоторых из исследуемых моделей при различных углах атаки.

Видно, что головная часть типа «плоский торец» вызывает развитый отрыв потока с боковой поверхности модели пули практически во всём диапазоне исследуемых углов атаки. На остальных образцах имеет место частичное или полное присоединение потока, особенно с наветренной стороны боковой поверхности. Развитая зона отрыва обеспечивает образцу а) максимальную точность стрельбы по сравнению с другими формами головной части, так как, образуемая в результате отрыва потока, обширная застойная создает защиту от внешних случайных и систематических малых возмущений, действующих на боковую поверхность пули. Таким образом, она играет роль защитного «экрана» от неравномерного обтекания и пульсаций скорости во внешнем потоке.

Для сравнения рассмотрим обтекания образцов б) и д), представленные на рис. 6 и рис.8 соответственно. Они имеют лишь незначительную область застойной зоны, что объясняет их худшую точность по сравнению с другими вариантами головной части.

Заключение

Нетрудно сделать вывод, что именно величина застойной зоны столь сильно определяет характеристики рассеивания. Использование этого явления для создания дополнительной устойчивости ЛА в полете является весьма эффективной методикой, снижая амплитуду случайных угловых колебаний неуправляемой пули. При анализе результатов стрельб следует отметить и то, что рассеивание значительно уменьшается с ростом начальной скорости пули. При этом возрастает и влияние формы головной части, определяющей параметры отрыва потока. Учтём, что при стрельбе из пневматического оружия дальность полета пули не является определяющим фактором. Основным требованием, чаще всего, выбирают точность стрельбы на фиксированном расстоянии 10 метров. В этом случае, даже с учётом повышенного торможения, предпочтение следует отдать пулям, имеющим плоскую головную часть.

Список литературы

1. Илюхин С.Н. Методики нахождения коэффициента лобового сопротивления при проведении экспериментальных исследований на баллистической трассе // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 1. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/704437.html> (Дата обращения: 15.08.2015)
2. Илюхин С.Н. Её величество пуля // Охота и рыбалка. XXI век: сайт. Режим доступа: <http://www.ohotniki.ru/editions/oir/article/2013/10/14/639838-ee-velichestvo-pulya.html> (Дата обращения: 10.08.2015)
3. Емельянова Н.С. Программное обеспечение экспериментальных исследований на баллистической трассе // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э.

- Баумана. Электрон. журн. 2014. № 6. Режим доступа:
<http://sntbul.bmstu.ru/doc/723443.html> (Дата обращения: 15.08.2015)
4. Москаленко В.О. Аэродинамический лабораторный комплекс // Труды ГосНИИ ГА. 1986. Вып. 258. С. 115.
 5. Калугин В.Т., Луценко А.Ю., Столярова Е.Г., Хлупнов А.И. Аэродинамические трубы дозвуковых и сверхзвуковых скоростей: методическое пособие. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2004. 28 с.
 6. Краснов Н.Ф., Кошевой В.Н., Калугин В.Т. Аэродинамика отрывных течений. М.: Высшая школа, 1988. 351 с.
 7. Бурлов В.В., Грабин В.В., Козлов А.Ю., Лысенко Н.М., Сидоров А.И., Шмельков В.Б. Баллистика ствольных систем / Под ред. Л.Н. Лысенко, А.М. Липанова. М.: Машиностроение, 2006. 461 с.
 8. Казаковцев В.П., Жилейкин В.Д.. Обработка стрельб: методические указания к лабораторным работам. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 27 с.
 9. Илюхин С.Н. Синтез системы наведения и контура стабилизации методом ЛАХ на примере произвольной модели ЗУР // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 7. Режим доступа:
<http://sntbul.bmstu.ru/doc/467279.html> (Дата обращения: 15.08.2015)
 10. Швыркина О.С. Исследование движения корректируемого боеприпаса при воздействии переменной ветровой нагрузки // Молодежный научно-технический вестник. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2015. № 4. Режим доступа:
<http://sntbul.bmstu.ru/doc/780683.html> (Дата обращения: 15.08.2015).

Experimentally Studied Influence of the Bullet Head Shape on Dispersion Characteristics at Subsonic Airspeeds

S.N. Ilyukhin^{1,*}, V.O. Moskalenko¹,
A.I. Khlupnov¹

*ilyukhin.stepan@rambler.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: ballistic track, the wind tunnel, bullet, dispersion

The article presents description and results of experiments on a ballistic track and subsonic wind tunnel. The subject of study is important an issue such as the assessment of the influence of the bullet head shape on the accuracy of shooting parameters at subsonic muzzle velocity. The article points to the features of examined precision of guided and unguided aircraft, refers to the main disturbing factors. In addition, it outlines the most well known ways to improve the flight precision of unguided munitions. The article presents the geometric parameters of bullets and their scale models used in the experiments. It describes the experimental facilities and the studies themselves. Particular attention is paid to the analysis of experimental air-gun firings. Results for different muzzle velocities of flight are compared. The paper notes an ambiguity in comparison of accuracy and head drag coefficient. The results are clearly aligned with the data purging in the little turbulent subsonic wind tunnel. The article describes in detail the use of the method for visualizing a structure of the flow for the delimitation of attached flow and estimation of stagnation zone. A revealed physical picture has comprehensive theoretical underpinning. The conclusions of the work also give a advices on selecting a bullet to have the best dispersion parameters.

References

1. Ilyukhin S.N. Technique for finding the drag coefficient with the experimental investigations on the ballistic track. *Molodezhnyi nauchno-tehnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology Herald of the Bauman MSTU*, 2014, no.1 Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/704437.html> 15.08.2015. (in Russian).
2. Ilyukhin S.N. Her Majesty the bullet. *Hunting and fishing. XXI century. website*. Available at: <http://www.ohotniki.ru/editions/oir/article/2013/10/14/639838-ee-velichestvo-pulya.html>, accessed 10.08.2015. (in Russian).
3. Emel'yanova N.S. Software experimental researches on ballistic track. *Molodezhnyi nauchno-tehnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology*

Herald of the Bauman MSTU, 2014, no. 6. Available at:

<http://sntbul.bmstu.ru/doc/723443.html>, accessed 15.08.2015. (in Russian).

4. Moskalenko V.O. Aerodynamic laboratory complex. *Trudy GosNII GA* [Proceedings of state research Institute of Civil aviation], Vol. 258, p.115. (in Russian).
5. Kalugin V.T., Lutsenko A.Iu., Stoliarova E.G., Khnupnov A.I. *Aerodinamicheskie truby dozvukovykh i sverkhzvukovykh skorocstei: metodicheskie posobie* [Wind tunnel subsonic and supersonic speeds]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004, 28 p. (in Russian).
6. Krasnov N.F., Koshevoi V.N., Kalugin V.T. *Aerodinamika otrivnykh techenii* [The aerodynamics of separated flow]. Moscow, Vysshaya shkola, Publ., 1988, 351 p. (in Russian).
7. Burlov V.V., Grabin V.V., Kozlov A.Yu., Lysenko N.M., Sidorov A.I., Shmel'kov V.B. *Ballistika stvol'nykh system* [The ballistics of the receiver systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006, 461 p. (in Russian).
8. Kazakovtsev V.P., Zhileikin V.D. *Obrabotka strel'b* [Processing firing]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 209, 27 p. (in Russian).
9. Ilyukhin S.N. The synthesis of the targeting system and the circuit stabilization method of «LAH» on the example of the random model «ZUR». *Molodezhnyi nauchno-tehnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology Herald of the Bauman MSTU*, 2012, no. 7. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/467279.html>, accessed 15.08.2015. (in Russian).
10. Shvyrkina O.S. The study of the movement of the corrected munition when exposed to variable wind loads. *Molodezhnyi nauchno-tehnicheskii vestnik MGTU im. N.E. Baumana = Youth Science and Technology Herald of the Bauman MSTU*, 2015, no. 4. Available at: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/780683.html>, accessed 15.08.2015. (in Russian).