

## **Влияние разброса начальной скорости гранаты на вероятность попадания в цель**

© В.В. Кореньков, С.И. Лежнин, В.В. Селиванов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Описана модель расчета внешней баллистики в полной трехмерной постановке в приближении динамики материальной точки. Проведено математическое моделирование попадания гранаты в цель методом статистических испытаний при вариациях внешних условий стрельбы. Представлены оценки вероятности попадания гранаты в лобовую проекцию танка для разных режимов стрельбы из гранатометного комплекса. Показано существенное увеличение вероятности попадания гранат при использовании реактивного двигателя с системой авторегулирования тяговых характеристик.*

**Ключевые слова:** *разброс начальной скорости, авторегулирование тяги, импульсный двигатель, внешняя баллистика, боковой ветровой снос, ошибки прицеливания оружия, ошибка ориентирования оружия, техническое рассеяние, вероятность попадания.*

Для эффективного применения гранатометных комплексов в антитеррористических операциях в городах и густонаселенных районах необходимо обеспечить заданную точность попадания, которая во многом определяется постоянством баллистических характеристик гранатометного выстрела. Нестабильность баллистических характеристик выстрелов средств ближнего боя (СББ) в первую очередь зависит от колебаний начальной скорости изделий, обусловленной температурным разбросом тяговых характеристик [1, 2] импульсного реактивного двигателя на твердом топливе (ИРДТТ). В работе [3] показано, что снижение температурного градиента баллистических характеристик неуправляемых гранат для СББ во всех климатических условиях применения можно обеспечить введением в конструкцию ИРДТТ автоматически регулирующих критическое сечение устройств. Экспериментально подтверждено снижение температурного разброса давления в камере таких двигателей в 12 раз.

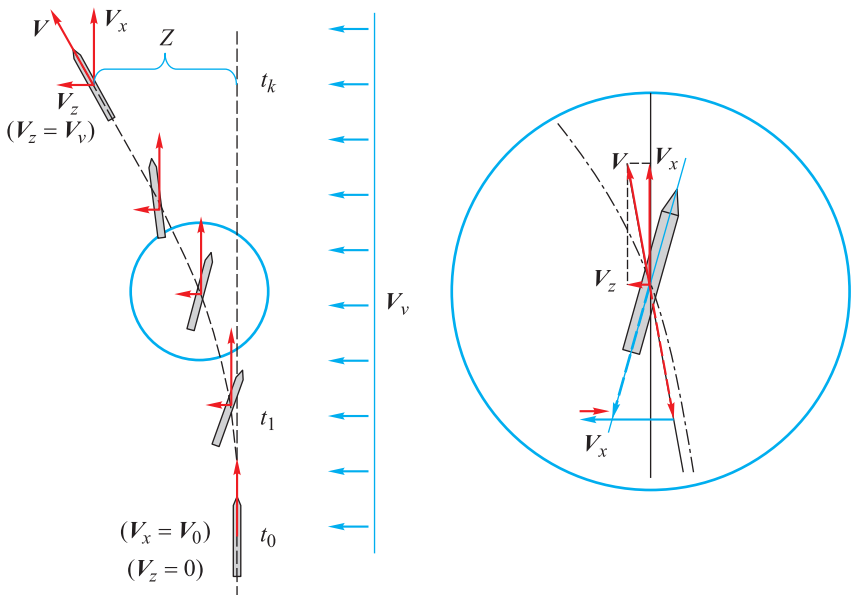
Системы авторегулирования тяговых характеристик позволяют значительно повысить эксплуатационные и боевые свойства оружия, прежде всего, кучность стрельбы из гранатомета. Для того чтобы количественно оценить влияние сокращения разброса начальной скорости гранат на повышение вероятности попадания в цель, необходимы физические и математические модели внешней баллистики и оценки вероятности, учитывающие этот фактор.

Корректность расчета вероятности попадания гранат в цель определяется возможностью и качеством учета стохастических факторов,

способных оказать влияние на положение гранаты относительно цели на траектории, главным образом, ветра на дистанции ее полета к цели. Значения пульсаций скорости ветра в потоке могут достигать 100 % номинала ее средней скорости, причем интенсивность пульсаций максимальна вблизи поверхности земли. Для учета влияния этого фактора расчет внешней баллистики гранат проводится в полной трехмерной постановке в приближении динамики материальной точки, но с учетом вектора сил, связанного с адаптацией (стабилизацией) гранаты в потоке.

В качестве основного допущения принято, что граната после выхода из транспортного пускового контейнера (ТПК) «мгновенно» ориентируется по потоку вдоль суммарного вектора  $V_s$  от скорости набегающего потока (начальная скорость гранаты  $V_0$ ) и вектора скорости ветра  $V_v$ . Допущение обосновано тем, что на практике устойчивая в полете граната приобретает такое положение на дистанции движения 3...5 м после выхода из ТПК, что составляет менее 1/100 пути ее последующего движения к цели.

Схема движения гранаты на траектории представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема движения гранаты в условиях действия бокового ветра (вид в плоскости действия ветра)

Граната вовлекается в движение в стартовой системе координат в направлении ветра под действием проекции силы сопротивления на соответствующую ось стартовой системы координат. В пределе после приобретения гранатой скорости, равной скорости ветра вдоль его направления, она движется по касательной к траектории без «видимого» различия между ориентацией гранаты в стартовой системе координат и касательной к ее траектории. Таким образом, трехмерные уравнения

движения материальной точки дополняются кинематическими соотношениями, характерными для расчета движения твердого тела.

Работа гранатометного комплекса возможна в нескольких режимах — с применением прибора управления огнем (ПУО) и автономно, на основе глазомерной оценки ситуации. В обоих случаях ориентирование оружия на цель производится оператором вручную. Расчетная схема оценки вероятности попадания гранаты в лобовую проекцию танка представлена на рис. 2. Оценка вероятности попадания проводится методом статистических испытаний.

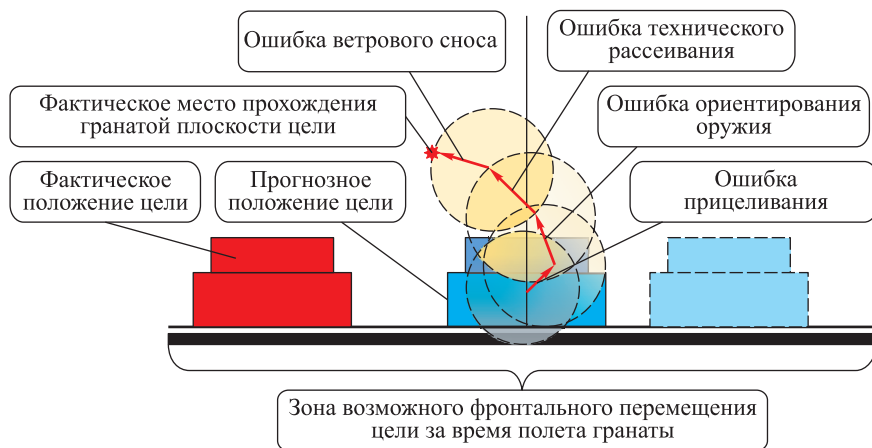


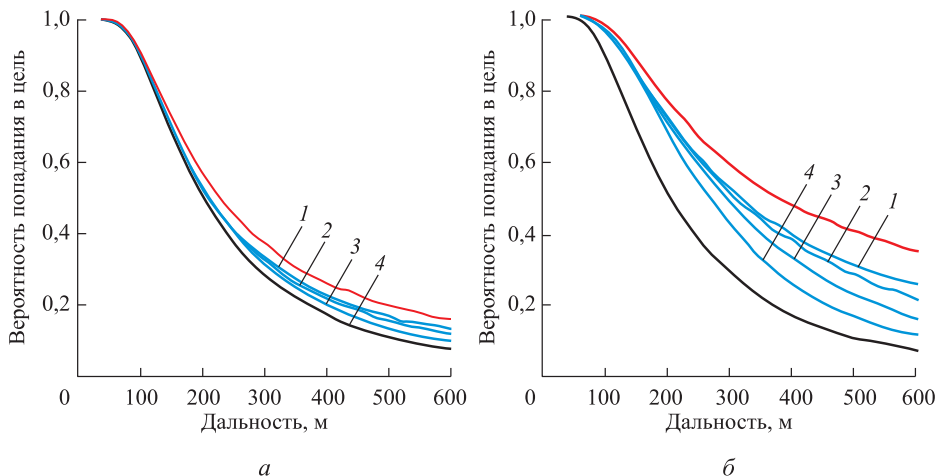
Рис. 2. Схема формирования ошибок, определяющих вероятность попадания гранат в цель

В расчетах учитываются следующие группы ошибок:

- прицеливания (зависят от режима применения комплекса);
- ориентирования оружия на цель (ручное или с закреплением на пусковой установке);
- от технического рассеивания гранат на траектории;
- вносимые неопределенностью ветрового сноса (зависят от боковой составляющей скорости ветра, скорости гранаты и дистанции до цели);
- прогноза движения цели (характерны при применении неуправляемого оружия и связаны с неопределенностью перемещения цели в период движения гранаты).

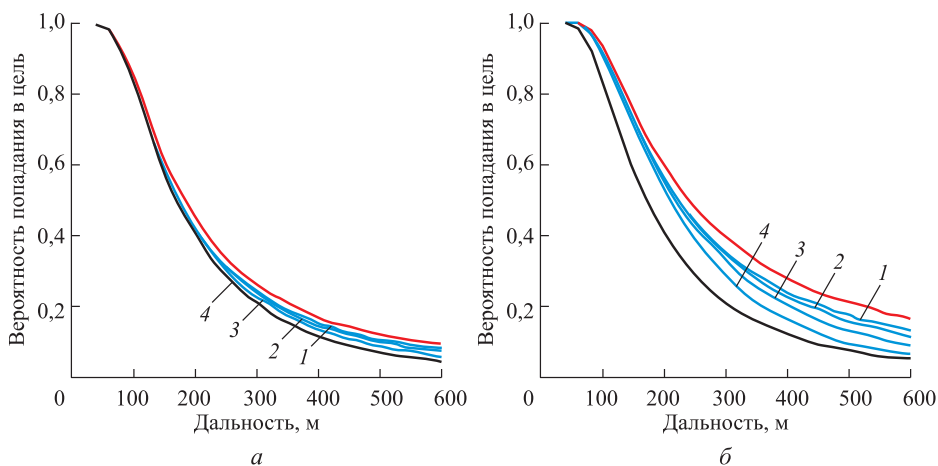
Специфика стрельбы из СББ — возникновение достаточно больших углов встречи гранаты с целью. Так, даже при стрельбе на дальность прямого выстрела (ДПВ) типичный угол встречи составляет  $2 \dots -2,5^\circ$ , что увеличивает эффективную площадь цели (за счет проекции глубины цели типа «танк» на картинную плоскость) на  $\sim 8 \dots 10 \%$ . На дальностях 600 м угол встречи может достигать  $-11 \dots -12^\circ$ , а прирост эффективной площади цели  $\sim 50 \%$ , что учтено в методике расчета вероятности попадания гранаты в цель.

Оценка влияния разброса начальной скорости гранат на вероятность попадания в цель проведена для противотанковой гранаты (ПГ) калибром 105 мм, с полетной массой 6 кг и коэффициентом лобового сопротивления  $C_x = 0,38$ . Вероятности попадания в танк при его лобовом обстреле гранатами ПГ-105 с вариациями работы двигателя, создающими разброс начальной скорости до 7 %, и вариациями внешних условий стрельбы (скорости бокового ветра и подвижности танка), приведены на рис. 3–5.



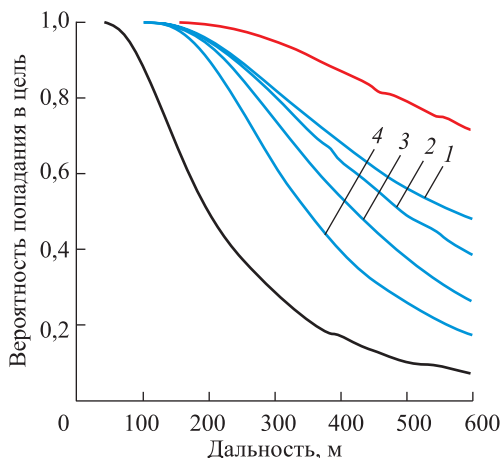
**Рис. 3.** Вероятность попадания в танк при фронтальной стрельбе (для стандартных условий стрельбы из ручного гранатомета по неподвижной цели в безветренную погоду):

*а* — глазомерное прицеливание  $E_p = 5$  т.д.; *б* — прицеливание с ПУО  $E_p = 0,675$  т.д.; при нулевых скорости ветра и скорости цели; 1 —  $dv = 0$ ; 2 —  $dv = 2$ ; 3 —  $dv = 4$ ; 4 —  $dv = 7$



**Рис. 4.** Вероятность попадания в танк при фронтальной стрельбе (для стандартных условий стрельбы из ручного гранатомета по подвижной цели и боковом ветре):

*а* — глазомерное прицеливание,  $E_p = 5$  т.д.; *б* — прицеливание с ПУО,  $E_p = 0,675$  т.д.; при скорости ветра 5 м/с и скорости цели 10 м/с; 1 —  $dv = 0$ ; 2 —  $dv = 2$ ; 3 —  $dv = 4$ ; 4 —  $dv = 7$



**Рис. 5.** Вероятность попадания в танк при фронтальной стрельбе (прицеливание с применением ПУО и наилучшим ручным ориентированием оружия при стандартных условиях стрельбы из ручного гранатомета по неподвижной цели в безветренную погоду): при  $E_p = 0,675$  т.д.,  $E_o = 2$  т.д., нулевой скорости ветра и нулевой скорости цели; 1 —  $dv = 0$ ; 2 —  $dv = 2$ ; 3 —  $dv = 4$ ; 4 —  $dv = 7$

На всех рисунках верхняя кривая соответствует «идеальной» гранате с нулевым техническим рассеиванием ( $E_b = E_6 = 0$  т.д.) и нулевым разбросом скорости ( $dV = 0$ ). Нижняя линия описывает зависимость для гранаты с реальным техническим рассеиванием  $E_b = E_6 = 2,3$  т.д. и максимальным разбросом начальной скорости  $dV = 7$  %. Средние линии соответствуют зависимостям изменения вероятности попадания в танк при средней ошибке по высоте и по боку  $E_b = E_6 = 2,3$  т.д. (эквивалентной кучности боя при стрельбе по щиту на ДПВ по высоте и боку  $B_b \leq 0,5$  м,  $B_6 \leq 0,5$  м, характерной для большинства РПГ) для разных значений  $dV = 0 \dots 4$  % (отмечены цифрами у кривых).

Расчеты на рис. 3–4 проведены для стрельбы при среднем уровне ручного ориентирования оружия, обеспечивающего среднюю ошибку ориентирования  $E_o = 5$  т.д. Расчеты на рис. 5 соответствуют наилучшему ручному ориентированию оружия  $E_o = 2$  т.д.

Условия стрельбы, учтенные в расчетах (отражены на рис. 5), соответствуют условиям, аналогичным тем, которые изображены на рис. 3, б но для наилучшего ручного ориентирования оружия, обеспечивающего  $E_o = 2$  т.д.

В условиях сильного влияния ошибок прицеливания и ориентирования оружия (см. рис. 3, а и 4, а) влияние возможного разброса начальных скоростей гранаты на вероятность попадания невелико. Различие между «идеальной» гранатой и наихудшей не превышает

2 раз на низком уровне вероятностей попадания 0,1–0,2, реализуемом на дальностях более 500 м. В условиях уменьшения части ошибок прицеливания при использовании ПУО (см. рис. 3, б и 4, б) и наилучшего ориентирования гранатомета на цель (см. рис. 5) влияние возможного разброса начальных скоростей гранаты на вероятность попадания резко увеличивается. Значительный рост вероятности попадания наблюдается уже на ДПВ. Различие между «идеальной» гранатой и наихудшей возрастает до 4–5 раз на высоком уровне вероятностей попадания 0,4–0,3, реализуемом на дальностях более 400 м. Абсолютные значения вариаций вероятности попадания возрастают в 2–3 раза, от 0,1 до 0,15 (см. рис. 3, б), и даже в 4 раза, от 0,12 до 0,3 (см. рис. 5) при изменении дальности стрельбы от 200 до 600 м. Таким образом, снижение разброса начальных скоростей гранаты за счет авторегулирования тяговых характеристик ИРДТТ в условиях повышения точности прицеливания и ориентирования оружия позволяет увеличить вероятность попадания в цель на дистанциях от 400 м более чем в 2 раза.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Соколовский М.И., Петренко В.И., ред. *Управляемые энергетические установки на твердом ракетном топливе*. Москва, Машиностроение, 2003, 464 с.
- [2] Шапиро Я.М., Мазинг Г.Ю., Прудников Н.Е. *Теория ракетного двигателя на твердом топливе*. Москва, Военное издательство Министерства обороны СССР, 1966, 256 с.
- [3] Кореньков В.В., Лежнин С.И., Светогоров Н.В., Селиванов В.В., Сергиенко С.В. Моделирование процесса диссипации кинетической энергии регулятора расхода импульсного реактивного твердотопливного двигателя. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Сер. Машиностроение*, 2015, № 4, с. 61–73.

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Кореньков В.В., Лежнин С.И., Селиванов В.В. Влияние разброса начальной скорости гранаты на вероятность попадания в цель. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/arise/adb/1435.html>

**Кореньков Владимир Владимирович** — канд. техн. наук, директор НПЦ «Специальная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Известный ученый и конструктор в области создания боеприпасов массового применения для ВВС, сухопутных войск, ВМФ (неуправляемые авиационные бомбардировочные средства поражения, противотанковые гранатометные комплексы, минометные выстрелы всех типов и калибров, противодиверсионные морские гранатометные комплексы, гранаты и другие виды боеприпасов). Научная деятельность связана с исследованиями процессов горения и взрыва, метания тел продуктами детонации с применением численных методов механики сплошной среды к расчету функционирования образцов боеприпасов. Автор более 120 научных трудов и 25 изобретений, лауреат премии Ленин-

ского комсомола в области науки и техники (1984), премии Правительства РФ в области науки и техники (2005) и премии С.И. Мосина (2008).

e-mail: korenkov-v-v@mail.ru

**Лежнин Сергей Иванович** родился в 1989 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2012 г. Аспирант кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ведущий инженер НИО НПЦ «Специальная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 10 научных работ в области численного моделирования процессов физики взрыва, механики сплошных сред, газодинамики продуктов горения. e-mail: sergey\_npcst@mail.ru

**Селиванов Виктор Валентинович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ, действительный член Российской академии ракетных и артиллерийских наук и Российской академии естественных наук, автор более 200 научных работ, в том числе 14 монографий и учебников в области механики разрушения, физики, техники и технологии взрыва и удара. e-mail: vicsel@list.ru

## **Effect of variation of the initial velocity of grenades on the probability of hitting the target**

© V.V. Korenkov, S.I. Lezhnin, V.V. Selivanov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article describes a model for calculating external ballistics in the full three-dimensional formulation in the approximation of the dynamics of a material point. Mathematical modeling of the grenade hitting the target was carried out by the method of statistical tests under variations of shooting external conditions. We estimated a probability of grenade hitting the frontal projection of the tank in different modes of shooting from grenade launcher system. It is shown that probability of grenade hitting the target increases significantly when using a jet engine with a system of autoregulation of thrust characteristics.*

**Keywords:** *variation of initial velocity, autoregulation of thrust, pulse engine, external ballistics, demolition of lateral wind, error of weapons aiming, error of weapons orientation, technical scattering, probability of hitting.*

### REFERENCES

- [1] Sokolovsky M.I., Petrenko V.I., eds. *Upravlyayemyye energeticheskiye ustanovki na tverdom raketnom toplive* [Controlled power plants on solid rocket fuel]. Moscow, Mashinostroenie, 2003, 464 p.
- [2] Shapiro Ya.M., Mazin G.Yu., Prudnikov N.E. *Teoriya raketnogo dvigatelya na tverdom toplive* [The theory of the rocket engine on solid fuel]. Moscow, Military Publ. of the USSR Ministry for Defence, 1966, 256 p.
- [3] Korenkov V.V., Lezhnin S.I., Svetlogorov N.V., Selivanov V.V., Sergienko S.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, Ser. Mashinostroyeniye — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2015, no. 4, pp. 61–73.

**Korenkov V.V.**, Cand. Sci. (Eng.), director of the SMC “Special engineering” at Bauman Moscow State Technical University. He is a renowned scientist and designer in the field of weapons of mass application for the Air Force, Army, Navy. His scientific activity is related to research of combustion and explosion, throwing bodies by detonation products, application of numerical methods of continuum mechanics to the calculation of the operation of ammunition items. Author of more than 120 works and 25 inventions. He is Lenin Komsomol Prize winner in the field of science and technology (1984), the RF Government Prize in Science and Technology (2005) and S.I. Mosin Award (2008). e-mail: korenkov-v-v@mail.ru

**Lezhnin S.I.** (b. 1989) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2012. Postgraduate student of the High-Precision Airborne Devices Department of BMSTU. Leading engineer of the SRD SMC “Special engineering” at BMSTU. Author of 10 works in the field of numerical simulation of the physics of explosion, continuum mechanics, gas dynamics of combustion products. e-mail: sergey\_npcast@mail.ru

**Selivanov V.V.** (b. 1946) graduated from Bauman Moscow Higher Technical School in 1971, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of High-Precision Airborne Devices Department



of Bauman Moscow State Technical University, Full Member of RARAN, RAEN and AVN, author of more than 200 publications related to mechanics of deformed solid body and mechanics of continua. e-mail: [vicse1@list.ru](mailto:vicse1@list.ru)