

УДК 621.45.03

# **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ** **THE ANALYSIS OF GAS GENERATORS APPLICATION EFFECTIVENESS IN CANNON ARTILLERY PROJECTILES**

*Чл.-корр. РАРАН А.В. Алиев, К.В. Сермягин*

*ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова»*

*A.V. Aliev, K.V. Sermyagin*

Рассматриваются вопросы, связанные с возможностью увеличения дульной энергии артиллерийских снарядов с использованием пристыковываемых к дну снаряда газогенераторных устройств. Приводится конструкция газогенераторного устройства модульного типа, излагаются допущения, принимаемые при формулировании математической модели внутрибаллистических процессов в заснарядном пространстве и позволяющие определить параметры движения снаряда с газогенераторным устройством по каналу ствола орудия. Численные исследования проведены на примере артиллерийского снаряда калибром 152 мм с длиной ствола 39 и 52 калибра. Показано, что газогенераторное устройство может увеличить дульную энергию на 8–12% в сравнении со снарядом традиционной схемы заряжания.

*Ключевые слова:* снаряд, энергия, газогенератор.

Problems of artillery projectiles muzzle velocity increasing capabilities by means of modular gas-generating devices attached to the rear of the projectiles are considered. The construction of the modular gas-generating device is described. The assumptions made when formulating an internal ballistics processes mathematical model that allow to simulate physical processes in barrels of tubed artillery systems along with taking in account peculiarities specified by using gas-generating devices operating in barrel are outlined. Computational investigations carried out for 152-mm artillery system. It is shown that using of gas-generating device can increase muzzle energy of the projectile by 8–12% in compare with traditional complete round.

*Keywords:* amunitijn, energy, gas-generator.

Вопросы, связанные с повышением дульной скорости (или дульной энергии) артиллерийского снаряда, являются актуальными и рассматриваются в многочисленной литературе [1–3]. Один из способов увеличения дульной скорости состоит в повышении уровня давления в окрестности днища снаряда при движении его в стволе артиллерийского орудия. Отдельные конструкции, предлагаемые в работах [1–3], обеспечивают повышение дульной энергии снаряда на 20–25%. Однако практическая реализация этих конструкций сопряжена с многочисленными трудностями. В связи с этим представляет интерес конструкция артиллерийского снаряда с пристыковываемым к его днищу газогенераторным устройством (рис. 1), защищенная патентами на изобретения [4, 5].

Рассматриваемое газогенераторное устройство состоит из корпуса 1 с камерой сгорания, в которой расположен заряд твёрдого топлива 14, днища 3 с сопловыми отверстиями 4, воспламенителя 10, узла крепления к снаряду, и дополнительно содержит блок питания и преобразования 12, блок управления 13, установленные в корпусе 1 устройства, сопловые заглушки 16, установленные в сопловых отверстиях днища 3, реле давления 9. Узел крепления к снаряду в представленном варианте является механическим и содержит

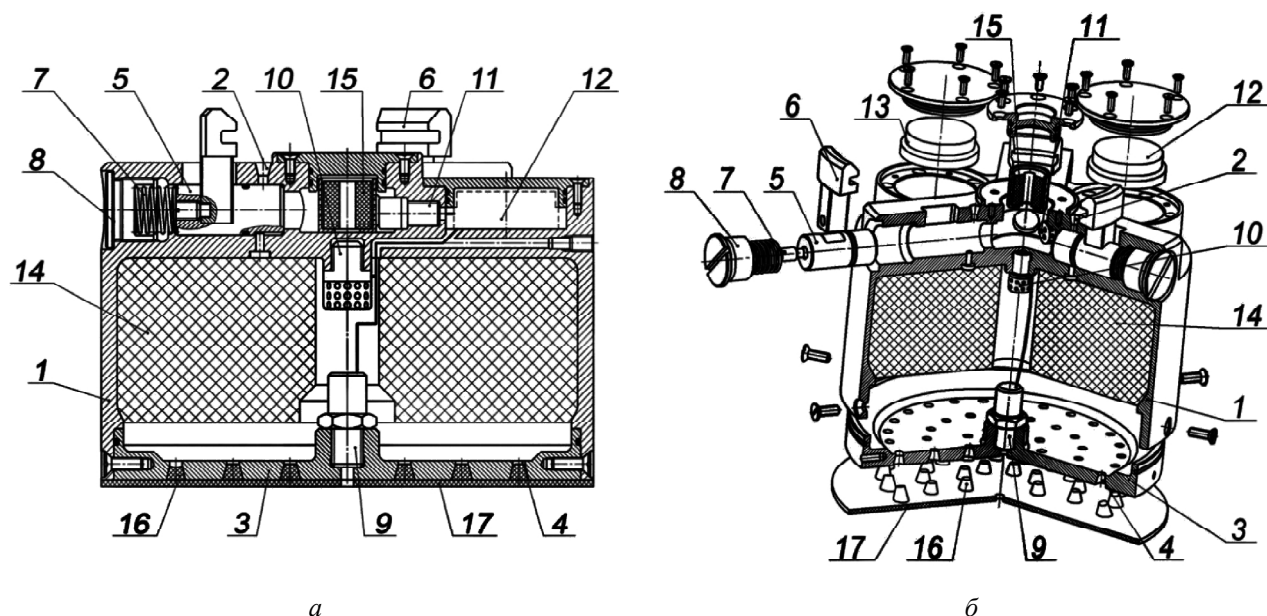


Рис. 1. Устройство увеличения дальности полета снаряда: а — устройство в разрезе; б — разнесенный вид устройства. 1 — корпус; 2, 4 — сопловые заглушки; 3 — днище; 5 — поршни; 6 — защёлки; 7 — пружины сжатия; 8 — пробки; 9 — реле давления; 10 — воспламенитель; 11 — воспламенительное устройство; 12 — блок питания и преобразования; 13 — блок управления; 14 — заряд твердого топлива; 15 — заряд пиротехнического состава; 16 — сопловые заглушки; 17 — прокладка

поршни 5 с защёлками 6, пружины сжатия 7, пробки 8, заряд пиротехнического состава 15.

Заряд твёрдого топлива 14, расположенный в камере сгорания корпуса 1, может быть выполнен в виде навески пороховых элементов зернистой формы, либо может представлять собой монолитный заряд твёрдого топлива, или представлять комбинацию пороховых элементов различной формы с различными физико-химическими и баллистическими характеристиками. Воспламенительное устройство 11 и заряд пиротехнического состава 15 могут быть выполнены в едином блоке и установлены в корпусе 1.

Описанное устройство увеличения дальности полёта снаряда работает следующим образом.

Перед заряданием орудия осуществляется присоединение устройства к снаряду. При этом рабочие поверхности защёлок узла крепления и отделения от снаряда входят в зацепление с соответствующими ответными поверхностями нижней части корпуса снаряда. Конструкция защёлок обеспечивает возможность передачи снаряду осевой силы и крутящего момента.

После воспламенения всего или части основного метательного заряда продукты его сгорания, расширяясь, достигают днища 3 устройства и оказывают силовое воздействие на чувстви-

тельный элемент реле давления 9, настроенного на срабатывание при некотором давлении, меньшем давления, при котором начинается движение снаряда. При срабатывании реле давления 9 происходит замыкание электрической цепи, в которую помимо реле давления входит блок питания и преобразования 12. При замыкании цепи блок питания и преобразования 12 формирует слабый электрический сигнал и передаёт его в блок управления 13. Блоком управления 13 после приёма сигнала начинается отсчёт времени.

Под воздействием сил давления от продуктов сгорания основного метательного заряда снаряд и газогенераторное устройство увеличения дальности полёта снаряда, соединённое со стволом орудия, начинают совместно перемещаться вдоль ствола орудия. В заданный момент времени блок управления 13 формирует сигнал на воспламенение заряда твёрдого топлива 14 и передаёт его в блок питания и преобразования 12. При получении сигнала блок питания и преобразования 12 посылает электрический ток через воспламенитель 10, инициируя его срабатывание и воспламенение воспламенительного состава. Вследствие теплопередачи от горячих продуктов сгорания воспламенительного состава к заряду твёрдого топлива 14 происходят прогрев и воспламенение последне-

го. При достижении в камере сгорания корпуса 1 некоторого давления, большего уровня давления в области перед сопловыми отверстиями 4 снаряды днища, продукты сгорания заряда твердого топлива 14 начинают истекать из сопловых отверстий 4 днища 3, выталкивая сопловые заглушки 16 и прокладку 17.

Повышение эффективности выстрела может быть достигнуто срабатыванием устройства на ствольном участке траектории либо при движении снаряда в атмосфере. В обоих случаях это достигается за счет увеличения уровня давления в области дна снаряда. В первом случае возможно увеличение дульной скорости снаряда, во втором — увеличение дальности полета снаряда.

После выхода снаряда из ствола орудия и после прекращения горения заряда твердого топлива в некоторый момент времени блок управления 13, блок питания и преобразования 12, воспламенительное устройство 11 с пиротехническим составом 15, поршни 5 и защелки 6 обеспечивают отделение газогенераторного устройства от снаряда.

Для моделирования и анализа процесса выстрела с применением предлагаемого устройства увеличения дульной энергии и дальности полета снарядов артиллерии выбран газодинамический подход. Выбор газодинамического подхода обусловлен возможностями описания с его помощью нестационарных процессов, характеризующихся неоднородным распределением газодинамических параметров по пространству.

При описании математической модели процесса выстрела приняты следующие основные допущения:

- пороховые элементы метательного заряда воспламеняются мгновенно по всей поверхности, при этом основной метательный пороховой заряд во время выстрела полностью удерживается в зарядной камере ствола орудия;

- движение снаряда начинается в момент времени, когда давление в заснарядном объеме достигает давления форсирования  $p_{\phi}$ ;

- продукты горения метательного заряда, заряда твердого топлива газогенератора и начального газа представляют собой гомогенную нереагирующую смесь;

- теплопередача и силовое взаимодействие между газовой и конденсированной фазами не учитываются;

- в основу определения газоприхода с поверхности пороховых элементов положен геометрический закон. Пороховые элементы пороха одинаковой марки метательного заряда имеют одинаковые геометрические характеристики;

- влияние НДС пороховых элементов на процесс газообразования не учитывается;

- ввиду скоротечности процесса выстрела теплопередача от газообразных продуктов сгорания и конденсированной фазы к стенке канала ствола не рассматривается;

- параметры в зарядной камере и камере сгорания газогенераторного устройства рассчитываются при нульмерном рассмотрении расчетной области. Газодинамические параметры в области между зарядной камерой и предлагаемым устройством либо между зарядной камерой и дном снаряда определяются при двухмерном осесимметричном представлении расчетной области.

В общем случае математические модели внутрибаллистических процессов содержат систему алгебраических, обыкновенных дифференциальных и дифференциальных в частных производных уравнений, решаемых совместно при заданных начальных и граничных условиях. Система уравнений не имеет аналитических решений, и это обуславливает необходимость применения численных методов. При решении системы использовались методы, изложенные в [6]. Наибольшая сложность возникает при решении газодинамических уравнений. В расчетах использовался метод крупных частиц [7] с апробированными модификациями метода [8, 9], особенность которых состоит в применении на эйлеровом этапе метода инвариантов Римана. Применение такой модификации метода крупных частиц позволяет существенно повысить устойчивость численного расчета и увеличить точность вычислений.

При анализе эффективности работы устройства на ствольном участке траектории рассматривались два варианта конструкции газогенератора (рис. 2) с объемами камеры сгорания 1,2 л и 1,8 л в применении к артиллерийским системам калибра 152 мм с длиной ствола 39 и 52 калибров и для снарядов с массами 45,0 кг и 50,7 кг. В расчетах рассматривались конструкции газогенераторов массой 3,2 и 3,8 кг. При этом масса пороха, засыпаемого в газогенератор, составляла 1,0 и 1,5 кг соответственно.

Эффективность применения устройств оценивалась по величине прироста дульной энергии

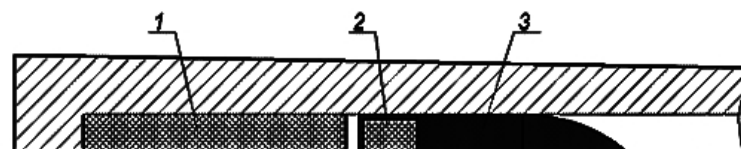


Рис. 2. Схемы заряжения с использованием различных вариантов устройства: 1 — основной пороховой метательный заряд; 2 — газогенераторное устройство; 3 — снаряд

по сравнению со случаем, когда весь метательный заряд сосредоточен в камере. При этом получалось, что суммарная масса метательного заряда в случае использования устройства и в случае традиционной схемы заряжения является одинаковой. Принято, что для снаряда массой 45,0 кг суммарная масса метательного заряда составляет 9,0 кг, для снаряда массой 50,7 кг — 10,0 кг. В случае использования газогенераторного устройства суммарная масса метательного заряда складывается из массы заряда, размещенного в камере, и массы заряда, размещенного в камере сгорания газогенераторного устройства.

Для всех расчетных случаев в качестве пороха, размещенного в камере артиллерийской системы, выбран порох марки НДТ-3 16/1. В качестве порохов, размещенных в камере сгорания устройства, использовались пороха марок 12/7, 17/7, 12/1 УГ, а также экспериментальный порох на основе пороха НДТ-3 16/1. Моделирование процессов выстрела проводилось при условии воспламенения заряда устройства в моменты времени  $t = 0,002, 0,004, 0,006, 0,008, 0,010$  и  $0,012$  с (здесь  $t$  — время срабатывания устройства)

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что для артиллерийских систем с массой снарядов 45 кг и 50,7 кг и массах порохового заряда, сосредоточенных в устройстве, равных 1 кг и 1,5 кг, максимальный прирост энергии при использовании порохов марок 12/7 и 12/1 УГ может составлять от 8 до 12% при максимальном давлении в камере сгорания устройства от 550 МПа до 670 МПа. Наибольший прирост дульной энергии снаряда наблюдается при раннем срабатывании устройства до момента достижения в камере орудия максимального давления. Этот факт объясняется тем, что при раннем воспламенении порохового заряда обеспечиваются максимальные значения давлений в камере сгорания устройства. Высокие значения давления при этом объясняются более продолжительным промежутком времени между воспламенением порохового заряда и началом истечения продуктов сгорания в заснарядное пространство по сравнению со случаем более позднего воспламенения. В то же время расчеты показывают, что применение в составе газогенераторного устройства пороха 17/7 практически не обеспечивает прироста ки-

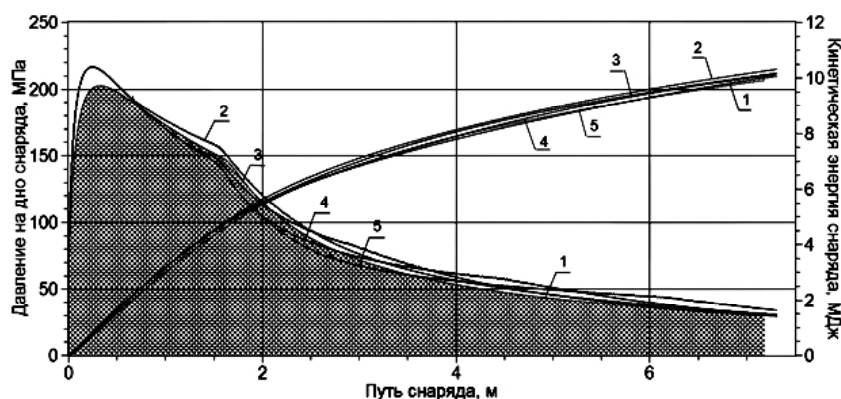


Рис. 3. Графики зависимости давления на дно снаряда и кинетической энергии снаряда от пути снаряда (масса снаряда — 45,0 кг, масса основного метательного заряда — 9,0 кг, масса порохового заряда в КС устройства — 1,0 кг, марка пороха — 17/7): 1 — снаряд без устройства; 2 —  $t = 0,002$  с; 3 —  $t = 0,004$  с; 4 —  $t = 0,006$  с; 5 —  $t = 0,008$  с

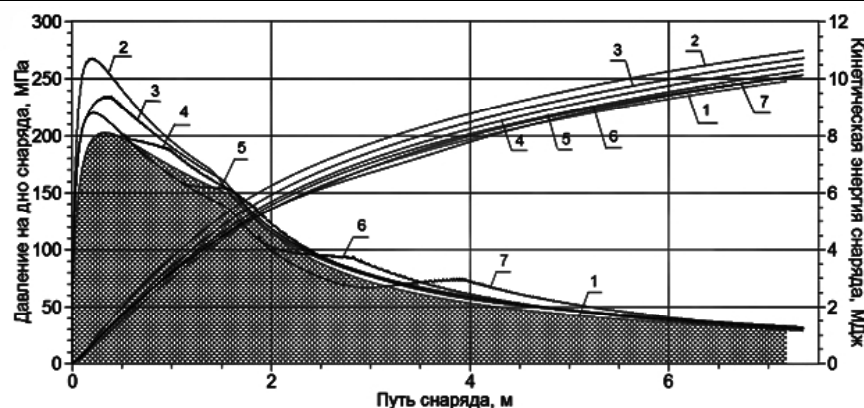


Рис. 4. Графики зависимости давления на дно снаряда и кинетической энергии снаряда от пути снаряда (масса снаряда — 45,0 кг, масса основного метательного заряда — 8,5 кг, масса порохового заряда в КС устройства — 1,5 кг, марка пороха — 12/1 УГ): 1 — снаряд без устройства, 2 —  $t = 0,002$  с; 3 —  $t = 0,004$  с; 4 —  $t = 0,006$  с; 5 —  $t = 0,008$  с; 6 —  $t = 0,010$  с; 7 —  $t = 0,012$  с

нетической энергии снаряда. В качестве примера на рисунках 3 (порох 17/7) и 4 (порох 12/1) представлены полученные в расчетах типовые зависимости энергии снаряда и давления на его дно как функции пути снаряда.

По итогам представленных результатов исследований могут быть сделаны следующие выводы:

— кинетическую энергию артиллерийского снаряда можно повысить, используя присоединяемое к дну снаряда газогенераторное устройство, при этом эффективность газогенераторного устройства зависит от объема камеры сгорания, массы используемого в нем пороха и от момента времени воспламенения порохового заряда;

— расчеты показывают, что для снарядов калибром 152 мм применение газогенераторного устройства в составе артиллерийского снаряда может обеспечить повышение его кинетической энергии на величину, составляющую в среднем от 8,0 до 12,0% в сравнении со снарядом традиционной схемы заряжания. Максимум прироста энергии обеспечивается при раннем зажигании пороха газогенерирующего устройства ( $t = 0,002 \dots 0,003$  с).

### Литература

1. Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. — Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. — 256 с.
2. Русяк И.Г., Ушаков В.М. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах. — Екатеринбург: УрО РАН, 2001. — 259 с.

3. Снаряды повышенной дальности NATO // DOGSWAR.RU. URL: <http://www.dogswar.ru/armii-mira/vooryjennie/714-snariady-povyshennoi-dalnosti.html> (дата обращения: 20.05.2011).

4. Алиев А.В., Сермягин К.В. Способ увеличения дальности полёта снаряда (варианты) и устройство для его реализации: пат. № 2462686 по классу F42B10/30, F42B10/38 с приоритетом от 24.12.2010 г.: Рос. Федерация / опубл. 27.09.2012 Бюл. № 27.

5. Алиев А.В., Сермягин К.В., Закаменных Л.Г., Шелковников Ю.К. Устройство увеличения дальности полёта снаряда: пат. №2465541 по классу F42B10/38 с приоритетом от 11.05.2011 г.: Рос. Федерация / опубл. 27.10.2012 Бюл. № 30.

6. Алиев А.В., Мищенкова О.В. Математическое моделирование в технике. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. — 476 с.

7. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц. Вычислительный эксперимент. — М.: Наука, 1982. — 391 с.

8. Алиев А.В., Блинов Д.С. Решение газодинамических задач в областях сложной формы с использованием конечно-объемных алгоритмов метода крупных частиц // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. 2009. № 1. — С. 151–154.

9. Алиев А.В., Андреев В.В. Разработка параллельных алгоритмов расчета задач газовой динамики методом крупных частиц // Интеллектуальные системы в производстве. 2006. № 1 (7). — С. 4–17.