

*The article briefly sets forth the dynamic theory of command remote control systems of gyroless missiles of minimum complexity with a displaced flare and elementary onboard control equipment (single-channel aerodynamic actuator and pyrotechnic flare). The author develops the design and studies the dynamics of the ground-based control equipment and the control loop of such missiles.*

*Key words: command remote control, gyroless missile, command generation method, dynamic synthesis, analysis, semirealistic simulation.*

*Morozov Vladimir Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, Deputy Chief of Division and Chief of Section, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Russia, Tula, JSC «KBP»*

УДК 623.41

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ СТРЕЛБЫ УПРАВЛЯЕМЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СНАРЯДОВ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ**

Т.В. Денисова, Ю.М. Попова, Ю.С. Швыкин

*Рассмотрены способы повышения дальности полета перспективных УАС за счет оптимизации формы, размеров пороха, массы метательного заряда с учетом ограничения по перегрузке.*

*Ключевые слова: артсистема, метательный заряд, марка пороха, начальная толщина горящего свода, перегрузка, УАС*

Современная ствольная артиллерия калибра 152...155 мм, обладая высокой огневой мощностью и маневренностью, сохраняет одно из ведущих мест в системе вооружения передовых военных стран.

В настоящее время взамен широко распространенных орудий с длиной ствола 39 и 45 калибров (Мста, М109А2, FH77В, М198, 155TR) активно разрабатываются и внедряются орудия нового поколения с длиной ствола 52 калибра. К ним относятся такие зарубежные артиллерийские системы, как М109А5/А6, G5/G6 и др.

Перспективные орудия дают возможность существенно повысить дальность стрельбы УАС с 25...40 до 65...70 км. Это достигается как за счет применения более мощных метательных зарядов, так и введения в конструкцию снаряда донного газогенератора и ракетного двигателя (РДТТ) с увеличенной массой топливного заряда, из-за чего масса вновь спроектированного УАС возрастает с 50 до 65 кг.

В наибольшей степени вновь разрабатываемые артсистемы повлияли на характеристики метательных зарядов. Увеличение габаритов камеры орудия с 20 до 25 л позволило повысить массу порохового заряда, что в совокупности с удлинением ствола дает возможность увеличить начальную скорость снаряда и, как следствие, его дальность.

Дальнобойные метательные заряды для основного боекомплекта, состоящего из неуправляемых снарядов, проектируются с учетом ограничения максимального давления, обусловленного прочностью ствола и противооткатных частей. Такие заряды непригодны для управляемых снарядов, так как не учитывают специфику работы УАС, связанную с наличием системы управления. Система управления УАС функционирует при перегрузке не более 11000 ед., превышение этого уровня влечет за собой отказы в ее работе и разрушение. Поэтому для УАС, как правило, для стрельбы на максимальную дальность отдельно разрабатывается специальный метательный заряд, учитывающий ограничение не по максимальному давлению, как для штатных неуправляемых боеприпасов, а по максимальной перегрузке, действующей на снаряд [1].

Основными задачами внутрибаллистического проектирования дальнобойного метательного заряда УАС для перспективных 152...155-мм артсистем являются выбор марки пороха и определение массы заряда, которые должны обеспечить максимально возможную скорость снаряда массой 65 кг при стрельбе из орудия с длиной ствола 8 м, объемом камеры 25 л, с ограничением по предельной перегрузке 11000 ед. С учетом вероятных отклонений величина максимально допустимой перегрузки должна быть не более 10500 ед. [2].

В рамках традиционного подхода в качестве первоначального варианта рассмотрен порох 22/1 Тр, широко использующийся для проектирования зарядов 152...155-мм орудий. Это пироксилиновый среднеазотный порох в виде одноканальной трубки. Масса заряда составила 9 кг и определена из условия получения максимально допустимой перегрузки при наибольшей температуре эксплуатации выстрела 50 °С. Графики изменения начальной скорости  $V_{изд}$ , давления на дно канала ствола  $P_{кан}$  и перегрузки  $N$  в функции от времени представлены на рис. 1. Максимальная начальная скорость составила 676 м/с.

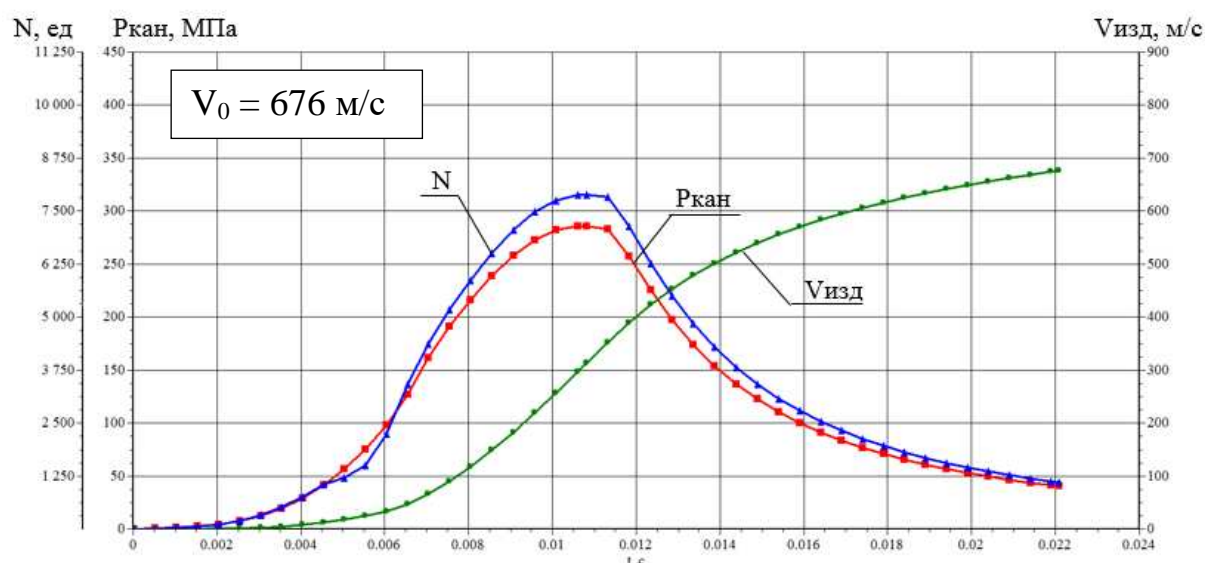
В связи с тем, что начальная скорость снаряда пропорциональна импульсу давления, задача дальнейшего увеличения начальной скорости сводится к поиску путей увеличения площади под кривой давления, при этом  $N_{max} = const = 10500$  ед. [2].

Для решения поставленной задачи предложены нижеследующие способы в порядке усложнения.

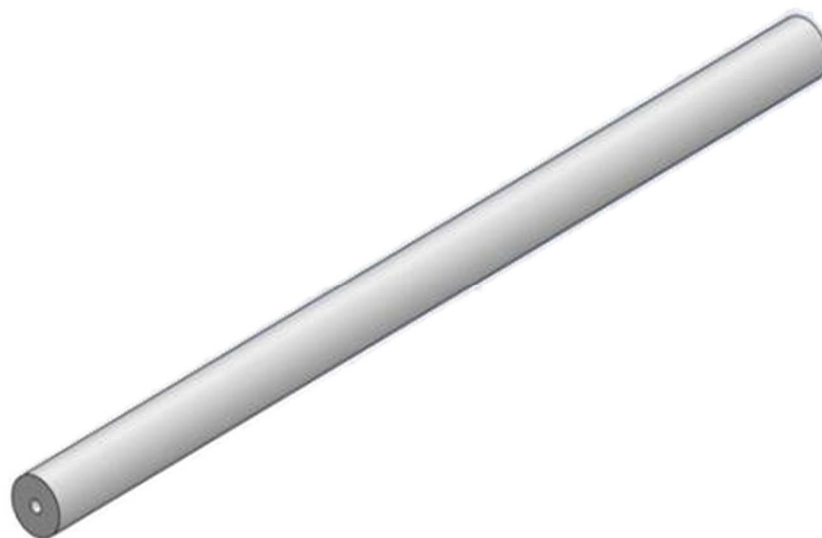
Способ 1. Увеличение толщины горящего свода пороха. Так же, как и в исходном варианте, берется одноканальная пироксилиновая трубка (рис. 2), но ее начальный свод увеличен до  $2e_1 = 2,6$  мм из условия ее полного сгорания на всей длине ствола при крайней отрицательной температуре -40 °С. В результате начальная скорость по сравнению с прежним вариантом возросла с 676 до 730 м/с (рис. 3).

Порох в виде одноканальной трубки горит дегрессивно, то есть с уменьшением горячей поверхности в процессе выстрела. Максимальная поверхность горения соответствует при мгновенном воспламенении начальному моменту времени процесса, когда снаряд только начинает

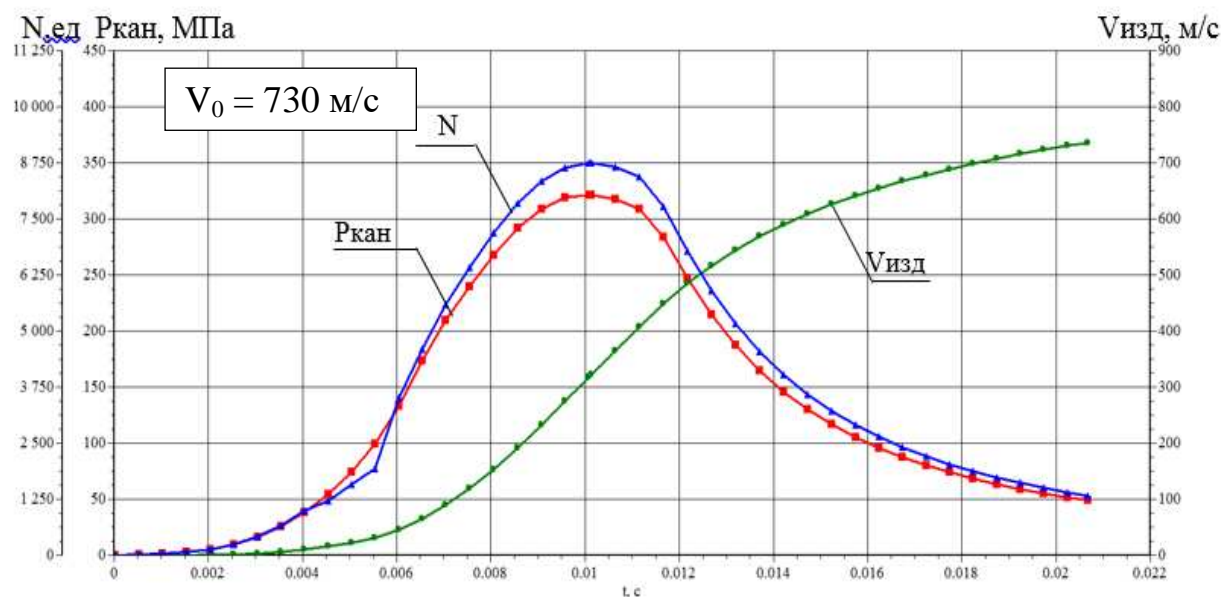
движение и горение происходит в малом начальном объеме. Поэтому максимальное давление возникает на относительно малом пути снаряда по стволу. После прохождения пика давления скорость снаряда значительно увеличивается с одновременным ростом заснарядного объема и уменьшением поверхности горения заряда, в связи с чем давление резко начинает падать. Таким образом, для увеличения площади под кривой давления необходимо стремиться как к плавному нарастанию, так и к плавному спаду давления. С этой целью предложены способы с применением прогрессивного пороха с возрастающей в процессе выстрела поверхностью горения [3].



**Рис. 1. Графики зависимости давления  $R_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании пороха 22/1 Тр при температуре  $15^\circ\text{C}$**



**Рис. 2. Одноканальная трубка**



**Рис. 3. Графики зависимости давления  $R_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании пороха 26/1 Тр при температуре 15 °С**

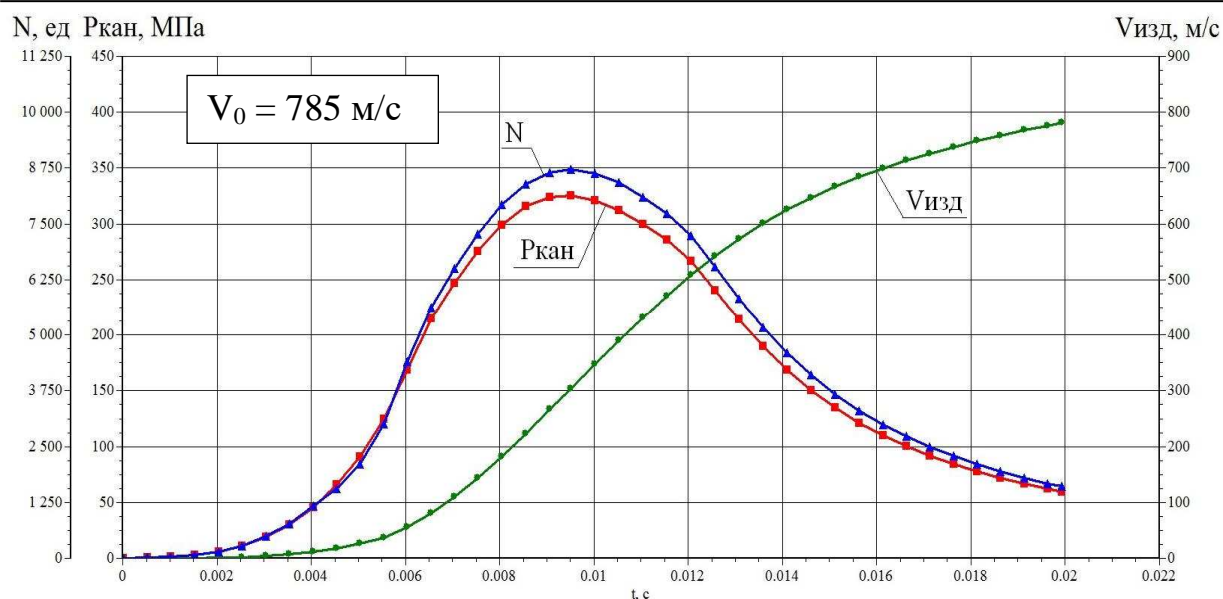
Способ 2. Использование пороха с формой прогрессивного горения. Наиболее распространенная и простая форма пороха прогрессивного горения – семиканальная трубка (рис. 4), при использовании которой максимальная поверхность горения, превышающая на 37 % начальную, соответствует количеству сгоревшей части заряда 85 %. В этот момент снаряд уже проходит определенный путь, из-за чего объем, соответствующий максимально развитой поверхности, значительно больше по отношению к начальному объему.



**Рис. 4. Семиканальная трубка**

Это позволяет при той же толщине горящего свода  $2e_1 = 2,6$  мм, что и у одноканальной трубки, увеличить массу заряда с 9,5 до 10 кг и повысить начальную скорость снаряда с 730 до 785 м/с (рис. 5).

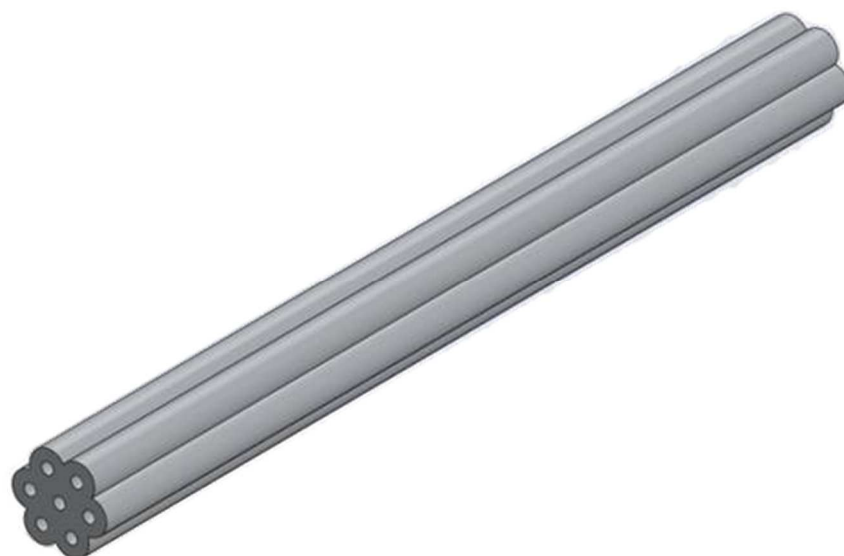
Дальнейшее повышение прогрессивности за счет увеличения количества каналов сопряжено с резким падением плотности заряжания и поэтому исключено из рассмотрения.



**Рис. 5. Графики зависимости давления  $P_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании пороха 26/7 Тр**

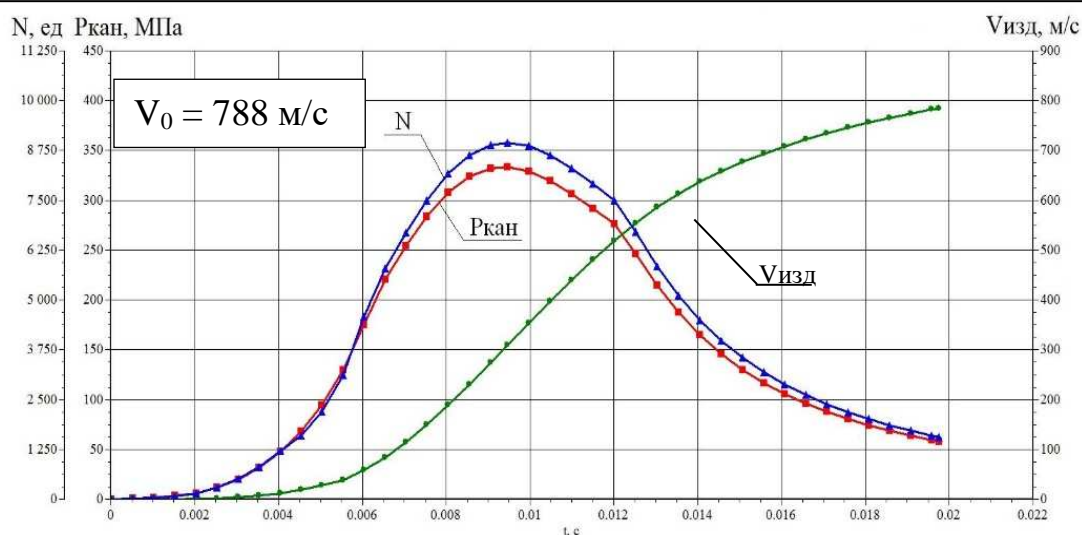
Способ 3. Использование пороха в виде семиканальной трубки Уолша.

Фактически является модификацией предыдущего варианта. От обычной семиканальной трубки Уолша отличается фигурным обводом (рис. 6). Такая форма пороха приводит к уменьшению количества дегрессивных остатков после распада трубки при горении на 5...10 %.



**Рис. 6. Семиканальная трубка Уолша**

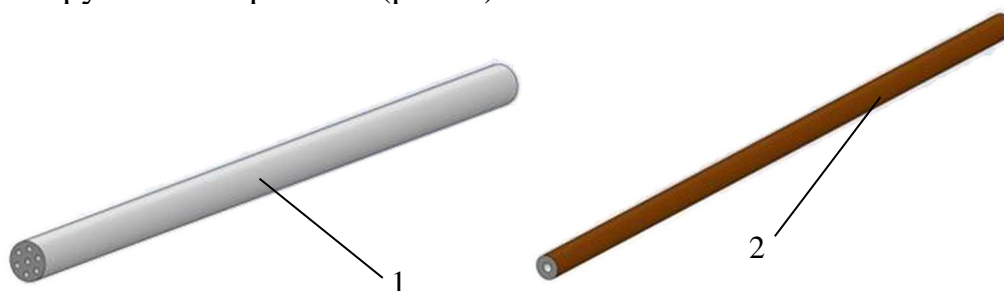
Применение трубки Уолша позволило получить начальную скорость 788 м/с, т.е. выше всего на 3 м/с по сравнению с зарядом из пороха в виде обычной семиканальной трубки (рис. 7).



**Рис. 7. Графики зависимости давления  $R_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании трубки Уолша 26/7 Тр**

Способ 4. Использование комбинированной навески заряда.

Идея состоит в том, чтобы максимально заполнить диаграмму давления за счет применения двух порохов – семиканальной трубки и одноканальной трубки с покрытием (рис. 8).



**Рис. 8. Комбинированная навеска заряда:  
1 – семиканальная трубка; 2 – одноканальная трубка с покрытием**

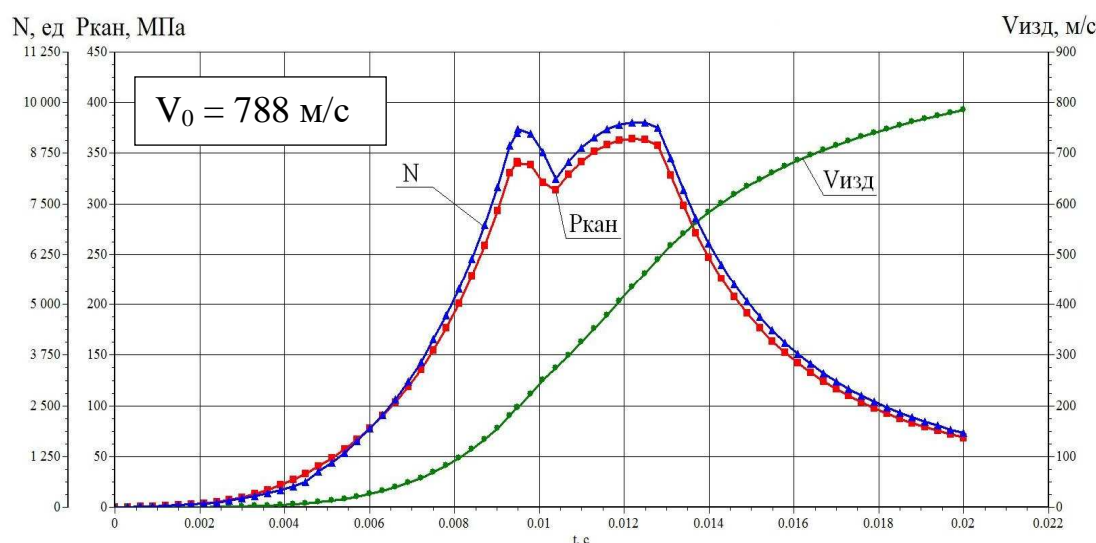
Первоначально горит только семиканальный порох. Как только кривая давления начинает спадать, к процессу горения подключается одноканальная трубка, которая воспламенится с задержкой благодаря бронирующему покрытию, сгорающему в процессе выстрела. Последовательное сочетание горения двух порохов даёт на графике давления два пика (рис. 9).

Максимальная начальная скорость составила 788 м/с и совпадает с начальной скоростью, полученной при использовании трубки Уолша (способ 3).

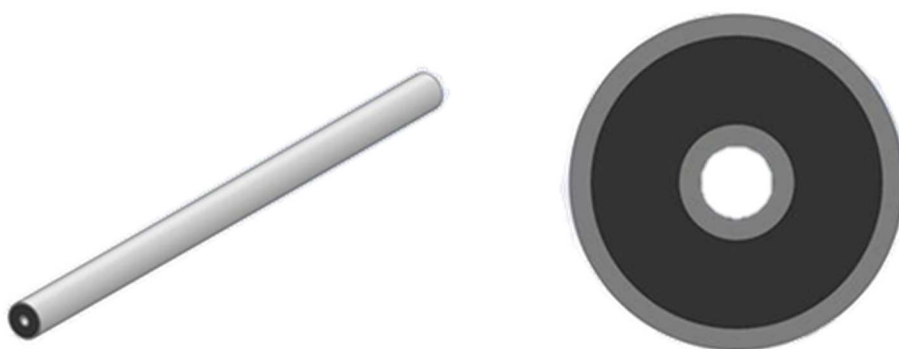
Способ 5. Применение многослойного пороха.

Рассмотрен двухслойный порох (рис. 10). Первый слой, наружный, обладает относительно низкой скоростью горения. Второй, внутренний, имеет высокую скорость горения. Последовательное горение слоев пороха,

как и в предыдущем варианте, позволяет увеличить площадь под кривой давления, следствием чего является повышение начальной скорости снаряда до 801 м/с (рис. 11).



**Рис. 9. Графики зависимости давления  $R_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании комбинированной навески заряда из порохов 13/7 Тр и 16/1 Тр**



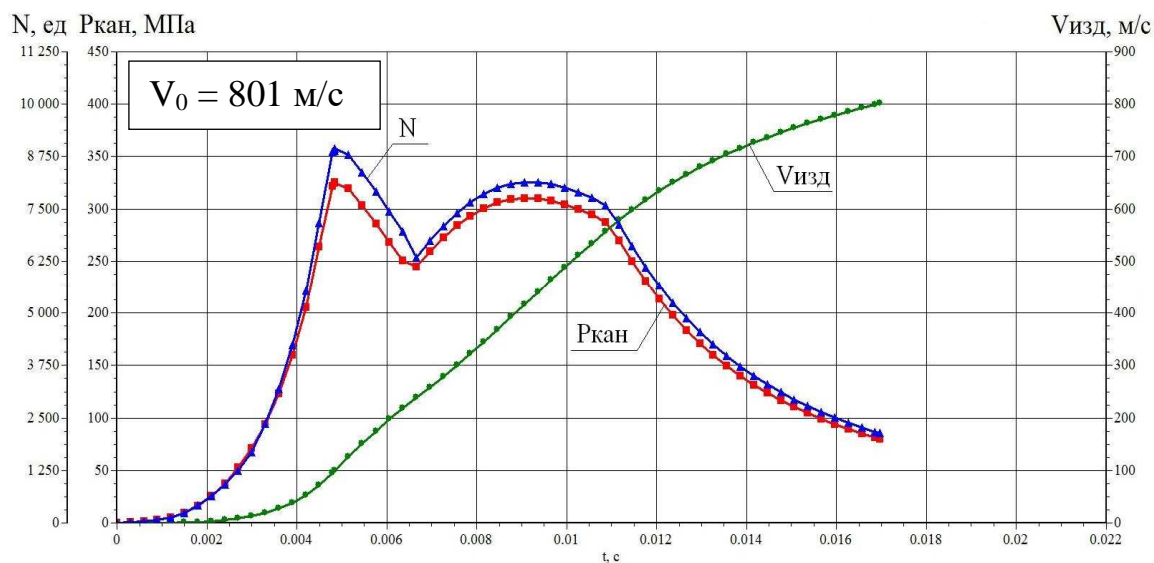
**Рис. 10. Одноканальная многослойная трубка**

Данный вариант имеет хороший потенциал. Очевидно, что при увеличении количества слоев диаграмма давления будет заполняться, что позволит существенно повысить начальную скорость. Однако технологически выполнить изготовление такого многослойного пороха не просто и на данный момент в этом направлении проводятся исследования.

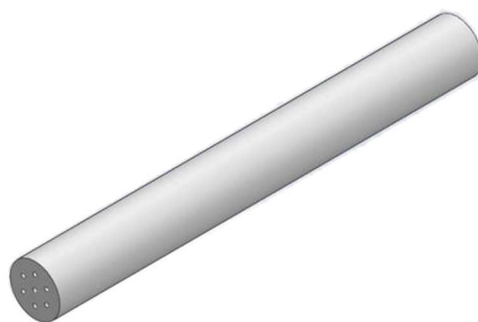
Способ 6. Применение высокоэнергетичного баллистического пороха АПЦ-МГ.

Энергетика АПЦ-МГ на 20 % выше, чем у пироксилинового пороха. Пороховой элемент из АПЦ-МГ выполнен в виде семиканальной трубки 37/7 Тр (рис. 12). Высокая энергетика пороха в совокупности с прогрессивностью горения обеспечивают увеличение начальной скорости снаряда до 822 м/с (рис. 13).

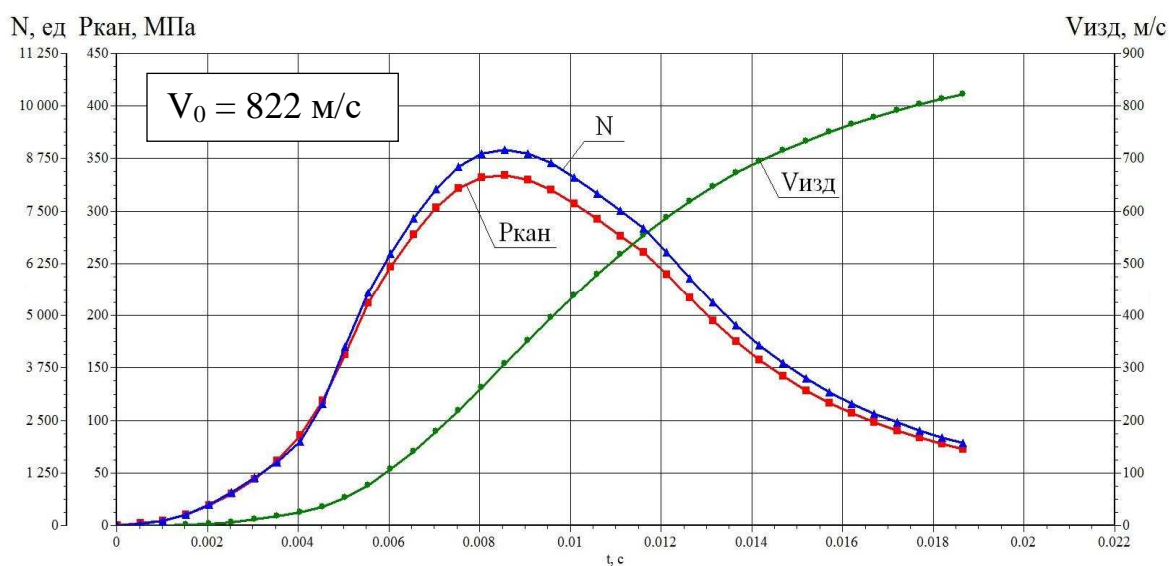




**Рис. 11.** Графики зависимости давления  $P_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании многослойного пороха 30/1 Tr



**Рис. 12.** Семиканальная трубка АПЦ-МГ 37/7 Tr



**Рис. 13.** Графики зависимости давления  $P_{кан}$ , перегрузки  $N$  и начальной скорости  $V_{изд}$  по времени при использовании высокоэнергетического пороха АПЦ-МГ 37/7 Tr



Несмотря на высокие баллистические характеристики, порох АПЦ-МГ в настоящее время не находит широкого распространения в артиллерии, что обусловлено следующими двумя особенностями.

Во-первых, использование АПЦ-МГ при отрицательных температурах приводит к существенной нестабильности давления и скорости. Причиной этому является процесс стеклования АПЦ-МГ при отрицательных температурах, что свойственно всем баллистическим порохам, к которым он принадлежит. Из-за стеклования снижается ударная вязкость пороха, он становится хрупким и раскалывается при воспламенении, причем по-разному от выстрела к выстрелу. Раскол, в свою очередь, приводит к неуправляемому увеличению начальной поверхности горения, и как следствие к нестабильности внутрибаллистических характеристик [4].

Во-вторых, использование пороха АПЦ-МГ губительно сказывается на состоянии ствола орудия. Установлено, что порох АПЦ-МГ, обладая высокой температурой горения 3400 К, приводит к увеличенному по сравнению с пироксилиновым порохом разгару ствола, разрушению нарезов, особенно расположенных вблизи каморы.

Обе обозначенные проблемы решаются путем доработки рецептуры АПЦ-МГ.

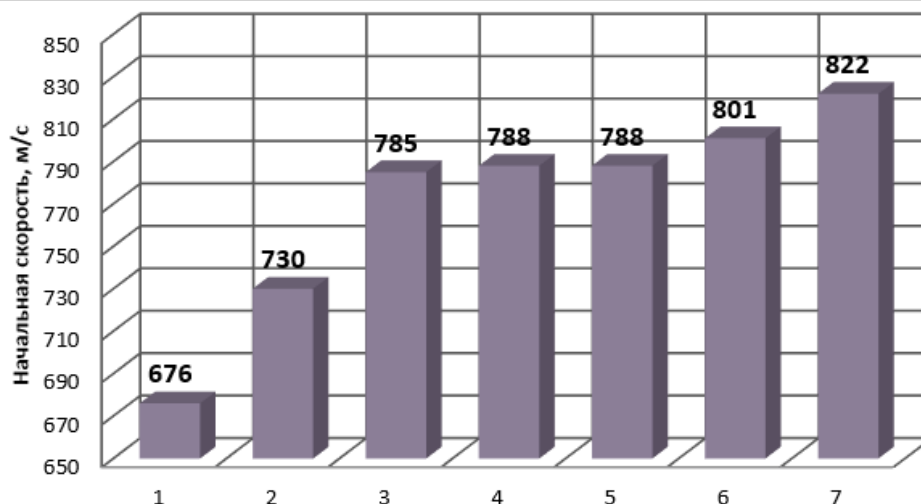
Улучшение физико-механических характеристик достигается за счет введения в порох активных пластификаторов и упрочняющих добавок. Наибольший эффект получен при введении 2 % фторопласта и азидопластификатора.

Второй способ снижения нестабильности характеристик – обеспечение прогнозируемого дробления путем нанесения насечек на пороховые элементы. Прогнозируемое дробление позволит также уменьшить температурный градиент внутрибаллистических характеристик.

Для повышения износостойкости ствола достаточно эффективной антиэрозионной добавкой является диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ). Частицы данного вещества при стрельбе оседают на внутренней поверхности ствола и образуют защитный слой, который более устойчив к температуре горения пороха. Массовая доля диоксида титана, вводимого в виде порошка непосредственно в пороховую массу, составляет 2...2,5 %, размер частиц 2...2,5 мкм [5].

В случае необходимости большего снижения разгарно-эрозионного действия пороховых газов рекомендуется применять комплексный прием: наряду с введением в состав пороха антиэрозионных добавок в состав заряда включают флегматизатор, который обеспечивает защиту ствола конденсирующимися окислами металлов.

Итак, в процессе исследования возможности повышения начальной скорости изделия рассмотрены 6 способов. На рис. 14 представлена гистограмма, отражающая в сравнении эффективность по увеличению начальной скорости всех рассмотренных вариантов.



**Рис. 14. Эффективность увеличения начальной скорости изделия:**  
**1 – исходный вариант; 2 – порох в виде одноканальной пироксилиновой трубки; 3 – порох в виде семиканальной пироксилиновой трубки;**  
**4 – порох Уолша; 5 – комбинированный заряд из пороха с покрытием;**  
**6 – баллиститный многослойный порох; 7 – высокоэнергетичный порох АПЦ-МГ**

Согласно проведенным исследованиям:

- увеличение толщины горящего свода с 2,2 до 2,6 мм позволило увеличить начальную скорость на 8 %;
- повышение начальной скорости на 17 % стало возможным при замене одноканального дегрессивного пороха на прогрессивный семиканальный, а также на зерно Уолша и порох с покрытием;
- использование высококалорийного пороха АПЦ-МГ, выполненного в виде семиканальной трубки 37/7, обеспечило самую высокую начальную скорость 822 м/с, что на 22 % выше по сравнению с исходным вариантом.

Результатами исследований показано, что для максимального повышения начальной скорости управляемых артиллерийских снарядов проектирование перспективных порохов необходимо проводить в направлении повышения калорийности, прогрессивности и многослойности.

### Список литературы

1. Баллистика ствольных систем / В.В. Бурлов [и др.]; под ред. Л.Н. Лысенко и А.М. Липанова. М.: Машиностроение, 2006. 461 с.
2. Метательный заряд артиллерийского выстрела раздельного заряжания: пат. 2526720 РФ. N 2013115671/11 заявл от 09.04.2013; опубл. 27.08.2014.
3. Косточко А.В., Казбан Б.М. Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства. М: ИНФРА-М, 2014. 400 с.

4. Афиатуллов Э.Х., Ибрагимов Н.Г., Охрименко Э.Ф. Разработка высокоэффективных порохов с повышенными эксплуатационными характеристиками для существующих и перспективных артиллерийских систем // Научно-технический сборник «Боеприпасы». М.: ЦЭИ Химмаш, 2001. №1. С. 52 – 57.

5. Факторы, повышающие живучесть стволов высокотемпных пушек при использовании порохов с добавками диоксида титана. / А.Г. Шипунов, Ю.С. Швыкин, В.Г. Шкуратов, В.В. Глухов // Избранные труды академика А.Г. Шипунова: сборник публикаций в 3 т. Т.1. М.: Граница, 2017. С. 350 – 358.

*Денисова Татьяна Викторовна, начальник сектора, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Россия, Тула, АО «КБП»*

*Попова Юлия Михайловна, инженер, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Россия, Тула, АО «КБП»*

*Швыкин Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, зам. начальника Управления ЦПС, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Россия, Тула, АО «КБП»*

*INCREASE OF THE FIRING RANGE OF CONTROLLED ARTILLERY MISSILE BY  
IMPROVEMENT INITIAL SPEED*

*T.V. Denisova, Y.M. Popova, Y.S. Shvikin*

*In this article we consider ways to improve firing range of controlled artillery missile by optimizing the shape, size of gunpowder, and the mass of the charge, taking into account the overload limit.*

*Key words: artillery system, charge, gunpowder, overload, controlled artillery missile.*

*Denisova Tatiana Viktorovna, chief sectore, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Russia, Tula, JSC «KBP»,*

*Popova Yulia Mihailovna, engineer, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Russia, Tula, JSC «KBP»,*

*Shvikin Yuriy Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, [kbkedr@tula.net](mailto:kbkedr@tula.net), Russia, Tula, JSC «KBP»*