

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА И НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ 30 мм АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ МОРСКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ**

На арсеналах, базах и складах вооружения Военно-Морских Сил Вооруженных Сил Украины хранятся артиллерийские боеприпасы, изготовленные в 70–80-х годах прошлого столетия, и доставшиеся Украине при разделе Черноморского флота СССР. Величина этого боезапаса значительно больше потребности флота. Однако, анализируя результаты физико-химических испытаний боеприпасов морской номенклатуры за последние годы, и, учитывая требования, указанные в [1], можно сделать вывод, что на протяжении 2015–2016 годов в мирное время выдача выстрелов на корабли для проведения стрельб станет невозможна. А в случае необходимости ведения боевых действий, стрельба имеющимися артиллерийскими боеприпасами будет сопряжена с большим количеством недолетов, недостаточной кучностью и другими проявлениями ненормального действия боеприпасов.

Такая ситуация сложилась в основном из-за того, что в основе метательных зарядов выстрелов ствольных систем артиллерийского вооружения кораблей лежат пироксилиновые пороха, физические, химические, а следовательно и баллистические свойства которых изменяются со временем. При длительном хранении пороха начинают терять характеристики, обеспечивающие оружию необходимые боевые качества. Ранее, путем проведения плановой ротации избегали влияния этого ухудшения. При этом сроки хранения не должны превышать 15–17 лет. На современном этапе большей частью эксплуатируются боеприпасы, которые были произведены 25 и более лет назад. Закупка новых образцов не проводится, поэтому проявления отрицательного влияния геронтологических изменений порохов на артиллерийские боеприпасы неизбежны.

Вывод о возможности использования боеприпасов для боевых стрельб делается на основании физико-химического исследования порохов и внешнего осмотра артиллерийских выстрелов. Физико-химические исследования порохов, которые проводятся в настоящее время в пиротехнической лаборатории воинской части А2192 (г. Макаров), имеют ряд существенных недостатков, а именно:

- применение индикаторов, которое ставит результат анализа в зависимость от качества лакмусовой бумаги;
- зависимость оценки показаний от наблюдателя, от его остроты зрения, особенности различать переходные цвета;
- недостаточный перечень проверяемых параметров (проводится проверка только стойкости порохов в данный момент, не учитывается изменение физико-химических свойств в дальнейшем и последствия этих изменений, в том числе и на боевое применение);
- несовершенная система отбора выстрелов на исследования, которая не дает возможности в полной мере учитывать разные условия хранения боеприпасов одной партии; например: если одна часть боеприпасов хранилась в погребах кораблей при повышенной температуре, а другая часть хранилась только в подземных хранилищах при нормальной постоянной температуре.

В условиях вынужденной эксплуатации послегарантийных артиллерийских боеприпасов необходимо организовывать мониторинг их состояния (прогнозировать изменение основных баллистических характеристик, уменьшать с помощью организационно-технических мер вероятность проявления ненормального действия, выявлять опасные в обращении боеприпасы, проводить своевременно утилизацию и т.д.) [2, 3].

Таким образом, прогнозирование изменений в свойствах порохов метательных зарядов боеприпасов в зависимости от сроков их хранения представляется важной научно-прикладной задачей.

Анализ литературы [2–7] показывает, что в последнее время появилось значительное количество публикаций как отечественных, так и зарубежных исследователей, посвященных проблеме усовершенствования методов определения предельного срока службы (хранения) боеприпасов и вытекающей из нее задачи разработки научно-обоснованной модели эксплуатации боеприпасов длительных сроков хранения. Однако теоретических и экспериментальных методов применительно к унитарным боеприпасам малого калибра представлено не было. Также остаются неопределенными параметры и критерии, значения которых могут быть получены в условиях штатной эксплуатации непосредственно в местах хранения, и дадут возможность достоверно оценить баллистические свойства порохового заряда.

В анализируемых литературных источниках не уделяется внимания созданию методики расчета так называемых «пороховых поправок», которые обязательно возникают при боевом использовании выстрелов с пороховыми зарядами, у которых начали проявляться геронтологические изменения.

Из многочисленных проявлений, которые влекут за собой процессы физического и химического разложения порохов (самовозгорание, разрыв элементов ствольной системы из-за превышения максимального давления пороховых газов над расчетным критическим давлением и т.д.), выделяется явление снижения начальной скорости снаряда. Это основной показатель, по которому судят о степени изменения баллистических свойств метательных зарядов. Изменение начальной скорости снаряда с течением времени хранения приводит к изменениям условий стрельбы. Изменения в условиях стрельбы необходимо учитывать при подготовке исходных данных для стрельбы.

В настоящее время на кораблях такой учет осуществляется во время проведения баллистической подготовки, которая включает в себя [8]:

- определение отклонения начальной скорости снаряда вследствие износа канала ствола;
- определение поправки на изменение начальной скорости снаряда из-за отклонения температуры заряда;
- определение пороховой поправки, учитывающей изменение начальной скорости снаряда в зависимости от баллистических характеристик данной партии заряда;
- расчет суммарной поправки  $\Delta V_0$  на отклонение начальной скорости снаряда от табличной и учет ее. Суммарная поправка на отклонение начальной скорости определяется как

$$\Delta V_0 = \Delta V_{0\text{изн}} + \Delta V_{0\text{ТЗ}} + \Delta V_{0\text{пн}}. \quad (1)$$

Третье слагаемое – пороховая поправка – указана маркировкой на выстреле или берется из документов на полученный на корабль боеприпас. Если пороховая поправка на выстреле и в документах не указана, то она принимается равной нулю.

В зависимости от типа прицельного устройства, рассчитанное суммарное отклонение начальной скорости вводится в прибор непосредственно или через поправку дня.

Как видно, при баллистической подготовке не учитывается влияние на начальную скорость снаряда, которое может оказать метательный заряд с геронтологическими изменениями порохов.

Такой подход оправдан в случае применения для стрельбы боеприпасов, срок эксплуатации которых не превышает 10 лет. Для артиллерийских выстрелов со сроком эксплуатации более 25 лет пренебрежение этим фактором приводит к погрешностям при стрельбе.

Задача определения баллистических характеристик метательных зарядов и изменения свойств порохов может быть решена на основе комплексного применения теоретических, экспериментальных методов и решения задач внутренней баллистики.

Внутренняя баллистика связывает химический процесс горения пороха, механический процесс поступательного движения снаряда и термодинамический процесс расширения пороховых газов. Теория поправок позволяет рассчитать изменения начальной скорости снаряда при изменении условий заряжания. Такая задача является отдельным случаем основной задачи внутренней баллистики, но в настоящее время выдвигается как особенная, имея в виду, что необходимо учитывать изменения свойств порохов при длительном хранении.

Целью статьи является разработка универсальной модели эксплуатации унитарных боеприпасов малого калибра и методики прогнозирования начальной скорости снаряда в зависимости от сроков эксплуатации.

Известно, что все пироксилиновые пороха по природе компонентов являются системами химически относительно неустойчивыми, поэтому в процессе эксплуатации претерпевают физические и химические превращения. Одной из важнейших проблем в комплексной оценке свойств порохов является прогнозирование таких изменений на относительно длительных отрезках времени и установление на этой основе сроков их эксплуатационной пригодности.

Существующие способы определения химической стойкости порохов основаны на том, что в определенных условиях разложение пироксилинового пороха может протекать быстро. Нагревание ускоряет процесс разложения, который происходит в действительности при реальном хранении (нагревание на каждые 5 °C ускоряет процесс в 1,5–2 раза).

Из всех способов выделяется так называемая «проба взвешиванием», которая дает возможность следить за ходом процесса разложения пороха по потере веса последнего с течением времени. Это уменьшение веса выражают в процентах от первоначального количества и строят кривую зависимости потери в весе от времени нагревания [9]. Нагревание прекращают после резкого загиба кривой, характеризующей начало прогрессивного разложения. Таким образом, «проба взвешиванием» показывает ход разложения не только в начальной стадии, но и в фазе более глубокого разложения.

На основании работ, посвященных изучению термостойкости, разработана теория химической стойкости [10], в которой химическая стойкость определяется двумя основными процессами:

– процессом первичного распада, скорость которого подчиняется закону мономолекулярной реакции и зависит только от температуры и химической природы вещества;

– процессом самоускоряющегося распада, протекающего по автокаталитическому механизму.

Ускорение процесса вызывается продуктами распада порохов. Скорость этого процесса зависит не только от химической природы и температуры, но и от примесей и внешних условий. К числу внешних условий относится накопление газообразных продуктов распада, если пороха находятся в герметизированном сосуде. В этом случае скорость распада может намного превосходить скорость первичного распада.

Основные свойства пороха и их изменение в процессе эксплуатации определяет физико-химическая природа его основного компонента – нитроцеллюлозы. По мере хода распада происходит уменьшение в весе этого вещества. В [10, с. 31–34] описывается процесс разложения нитроцеллюлозы и приводятся кривые изменения скоростей распада этого вещества при различных температурах.

На основании графического представления зависимостей, показанных в [9, 10] можно сделать вывод, что общий вид кривой потери массы порохового заряда от времени хранения будет иметь вид, представленный на рис. 1.

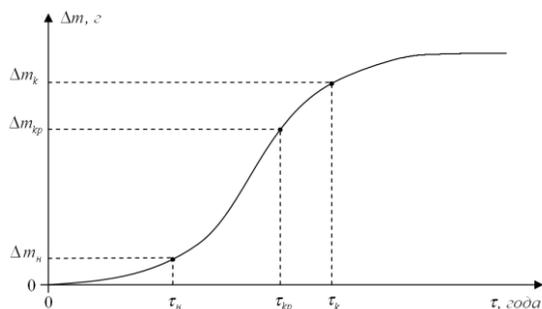


Рисунок 1 – Потеря массы порохового заряда

Анализ графической зависимости представленных рис. 1 показывает важность определения двух точек перегиба ( $\Delta m_i$ ;  $\Delta m_k$ ), соответствующих началу и окончанию самоускоряющегося распада пороха. Представляется важным также и определение точки на графике, которая соответствует моменту, когда потеря массы заряда приведет к потере начальной скорости снаряда меньше допустимой, исходя из условия возможности ее компенсации ( $\Delta m_{kp}$ ).

Также в [10] приводятся величины периодов полураспада для различных типов взрывчатых веществ. Данные показывают, что время распада пироксилиновых порохов и бризантных взрывчатых веществ отличаются в тысячи раз. Бризантные взрывчатые вещества, которые используются в артиллерийских боеприпасах морской номенклатуры, считаются химически стойкими. Поэтому можно сделать вывод, что при хранении выстрела у него уменьшается масса, прежде всего, за счет уменьшения массы пороха метательного заряда.

Решить задачу нахождения аналитической зависимости между потерей массы порохового заряда и временем хранения можно используя методы аналитической химии. Но это выходит за рамки статьи, хотя сопоставление данных, полученных таким путем, с данными, которые будут описаны ниже, дадут возможность оценить достоверность полученных результатов и уточнить прогноз. В дальнейшем, по мере развития исследования, представляется возможным нахождение указанной зависимости на основе модели молекулярной диффузии в пороховом зерне.

Для нахождения функции уменьшения массы пороха от времени хранения предлагается следующий подход:

1. Провести эксперимент по взвешиванию расчетного количества выстрелов. Причем выстрелы должны быть изготовлены в различное время, то есть время их хранения должно изменяться от максимального до минимального. Подробное описание методики эксперимента не входит в задачу статьи.

2. После обработки результатов эксперимента, определить средние значения величин  $\Delta \bar{m}_i$  для соответствующего времени хранения  $\tau_i$  (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты взвешивания артиллерийских выстрелов

$\tau$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$
$\Delta \bar{m}$	$\Delta \bar{m}_1$	$\Delta \bar{m}_2$	$\Delta \bar{m}_3$	$\Delta \bar{m}_4$

3. Интерполировать данные табл. 1. Для чего использовать один из методов численного анализа, например: способ наименьших квадратов, и знание общего вида графика функции изменения массы заряда от времени хранения на качественном уровне (рис. 1). Общий вид аппроксимирующего полинома представлен зависимостью:

$$\Delta \bar{m} = f(\tau) . \tag{2}$$

4. Построить график изменения массы от времени хранения (рис. 2).

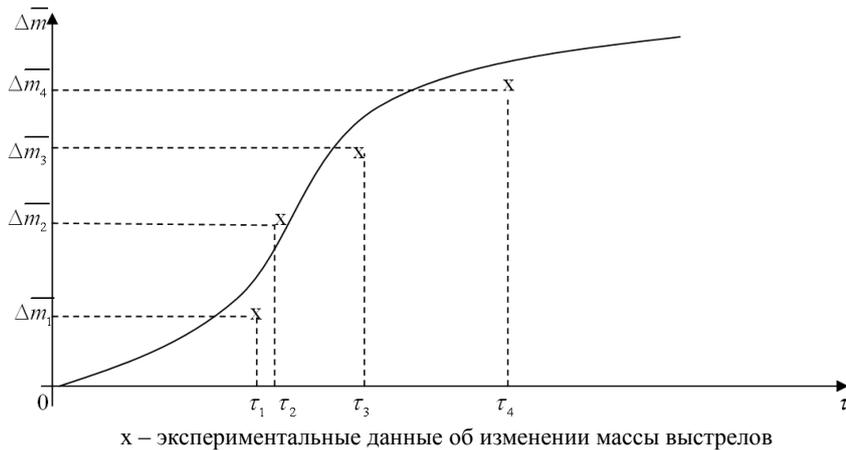


Рисунок 2 – Уменьшение массы порохового заряда при хранении

Полученная эмпирическая зависимость и ее график будут иметь отклонения от реальной зависимости, но по ним можно сделать прогноз о том, как будут изменяться физико-химические свойства пороховых зарядов при длительном хранении.

В целом, можно сделать вывод, что при хранении выстрела у него уменьшается масса, и уменьшается она, прежде всего, за счет уменьшения массы порохового метательного заряда. Уменьшение массы является признаком изменения баллистических свойств порохового заряда, которое возможно определить в условиях штатной эксплуатации боеприпасов непосредственно на складах, и является одним из параметров, определяющих явления внутренней баллистики.

Следует отметить, что существует ряд величин, являющихся баллистическими характеристиками пороха, и определяющих начальную скорость снаряда. Эти характеристики зависят от природы пороха и связаны с его физико-химическими свойствами. Поэтому, получив зависимость хотя бы одной из них от времени хранения порохового заряда, представляется возможным спрогнозировать баллистические характеристики выстрела, соответствующие данному этапу эксплуатации [4].

Ввиду того, что внутренняя баллистика имеет дело с большими давлениями и температурами газа и очень малым временем процесса, в результате которого снаряд набирает большую скорость, то изучать это явление чрезвычайно сложно. Поэтому теоретические методы основаны на допущениях и условиях.

В ряде фундаментальных работ по внутренней баллистике отмечается, что основной характеристикой пороха является плотность. Следовательно, по изменению ее значения можно судить и об изменениях других физико-химических свойств, определяющих баллистические характеристики выстрела, таких как теплота горения, скорость горения, сила пороха.

Будем считать, что разложение порохов на анализируемом промежутке времени не привело к разрушению пороховых зерен и значительному уменьшению их объема. Тогда изменение баллистических свойств метательного заряда в значительной степени можно свести к функции от его массы.

Для получения прогноза об изменении начальной скорости 30 мм артиллерийского боеприпаса морской номенклатуры необходимо решить прямую основную задачу внутренней баллистики, когда по заданным условиям заряжания для выстрелов, у которых изменяются в процессе длительного хранения свойства пороховых зарядов, рассчитываются скорости снарядов и определяются величины их отклонений от табличных значений.

Теоретическое решение основной задачи основано на совместном решении системы дифференциальных уравнений, описывающих закон горения пороха и соответствующие законы термодинамики с основным уравнением движения снаряда. Такое решение базируется на теоретическом анализе явления

выстрела и получается довольно сложным [11]. В отличие от теоретического, эмпирические методы решения исходят из подобранных на основе большого опытного материала зависимостей между скоростью снаряда и путем, который он прошел внутри ствола. В результате сочетания зависимостей, найденных опытным путем, с основным уравнением движения снаряда можно получить систему таблиц или формул, позволяющих численным методом получить кривые изменения скорости в зависимости от пути снаряда.

Для получения поправочных формул внутренней баллистики сформулируем задачу в общем виде [12]: необходимо вычислить изменения начальной скорости  $\delta V_0$  вследствие изменения параметров на величину  $\delta x_i$ , где  $i=1,2,\dots$

При этом будем предполагать, что изменения параметров  $\delta x_i$  являются малыми, то есть такими, для которых величиной квадрата отношения приращения параметра к величине самого параметра при заданной точности можно пренебречь (не более 3 %).

Следовательно, будет справедлива формула:

$$\delta V_0 = \frac{dV_0}{dx_1} \delta x_1 + \frac{dV_0}{dx_2} \delta x_2 + \dots + \frac{dV_0}{dx_n} \delta x_n. \quad (3)$$

В случае, если изменится один какой-нибудь из параметров  $x_i$ , от которого зависит  $V_0$ , то соответствующие изменения величин  $V_0$  будут вычисляться по формуле:

$$\delta V_0 = \frac{dV_0}{dx} \delta x, \quad (4)$$

где  $\delta V_0$  – изменение величины  $V_0$  при изменении только параметра  $x$ .

Если выражение для  $\delta V_0$  умножить на  $x$  и разделить на  $V_0$ , то получим

$$\frac{\delta V_0}{V_0} = \frac{dV_0}{dx} \frac{x}{V_0} \frac{\delta x}{x}. \quad (5)$$

Обозначим,

$$l_x = \frac{dV_0}{dx} \frac{x}{V_0}. \quad (6)$$

Тогда поправочная формула будут иметь вид:

$$\frac{\delta V_0}{V_0} = l_x \frac{\delta x}{x}. \quad (7)$$

Величина  $l_x$  называется поправочным коэффициентом внутренней баллистики.

Таким образом, нахождение поправочных формул внутренней баллистики сводится к вычислению поправочных коэффициентов  $l_x$ .

Поправочный коэффициент это величина, численно равная изменению начальной скорости (в процентах) при изменении рассматриваемого параметра на один процент.

Для нахождения поправочных коэффициентов необходимо вычислять частные производные величины по интересующим параметрам. А так как аналитические формулы, дающие выражение величины через параметры от которых они зависят, весьма сложны, то получить интересующие частные производные в виде аналитических формул без серьезных упрощений практически невозможно.

Существуют таблицы поправочных коэффициентов внутренней баллистики, по которым можно найти поправочные коэффициенты для конкретного орудия.

Если известны конструктивные элементы артиллерийской системы, то можно принять следующий порядок расчета изменения начальной скорости снаряда ( $V_0$ ) от изменения веса порохового заряда ( $\omega$ ).

В [13] замечено, что изменение  $V_0$  близко к линейному характеру в зависимости от изменения  $\omega$  до 40 %. Следовательно,

$$V_0 = k\omega + b \quad (9)$$

и

$$\frac{\delta V_0}{\delta \omega} = k = \frac{dV_0}{d\omega} \quad (10)$$

Но,

$$l_x = \frac{\omega}{V_0} \frac{dV_0}{d\omega} \quad (11)$$

Здесь,  $\delta\omega$  представляет изменение  $\omega$ , превышающее 3 %.

Отсюда,  $\delta\omega \approx \Delta\omega$ , а  $\delta V_0 \approx \Delta V_0$ .

Поэтому, учитывая выражение 7, для определения  $\Delta V_0$  используем формулу:

$$\Delta V_0 = l_x \frac{V_0}{\omega} \Delta\omega, \quad (12)$$

где  $\Delta\omega$  – берется из табл. 1 как значение  $\overline{\Delta m}$ ;  $V_0$  – известное табличное значение;  $\omega$  – берется из Таблиц комплектации боеприпасов морской артиллерии ТБП-80;  $l_x$  – вычисляется по таблицам поправочных коэффициентов.

На основании приведенного решения строится график зависимости изменения начальной скорости снаряда от изменения массы порохового заряда (рис. 3).

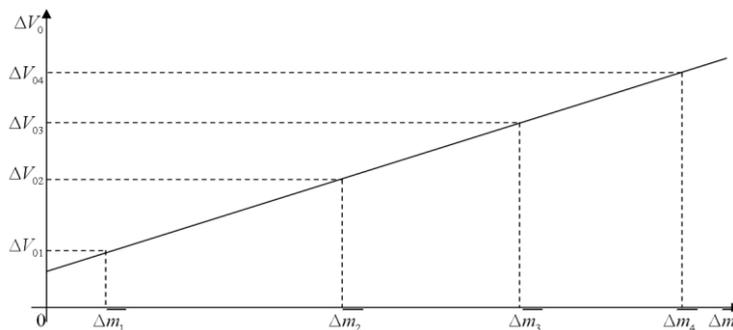


Рисунок 3 – Изменение начальной скорости снаряда в функции от изменения массы выстрела

Необходимо учесть то, что полученная зависимость является прогнозной. Поэтому результаты решений по упрощенной математической модели необходимо согласовывать с опытными данными. Сравнение упрощенных решений с экспериментальными может показать степень математической погрешности их при тех же константах и условиях заряжания. Отсюда возникает потребность в проведении опыта по определению начальной скорости снарядов тех выстрелов, взвешивание которых проводилось во время предыдущего эксперимента.

Описание подробной методики баллистических испытаний выходит за рамки статьи.

Пусть в результате эксперимента получены средние значения изменений начальных скоростей снарядов в зависимости от изменений масс выстрелов, зависящих от срока хранения боеприпасов (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты баллистических испытаний

$\overline{\Delta m}$	$\overline{\Delta m}_1$	$\overline{\Delta m}_2$	$\overline{\Delta m}_3$	$\overline{\Delta m}_4$
$\overline{\Delta V}_0$	$\overline{\Delta V}_{01}$	$\overline{\Delta V}_{02}$	$\overline{\Delta V}_{03}$	$\overline{\Delta V}_{04}$

Зная общий вид кривой графика, можно, используя способ наименьших квадратов, подобрать аппроксимирующий полином для данных в табл. 2 и построить графическую зависимость изменения скорости от изменения массы заряда

Проанализировав зависимости, провести коррекцию прогноза, полученного математическим путем (рис. 4).

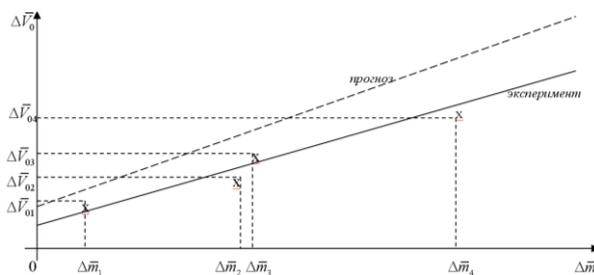
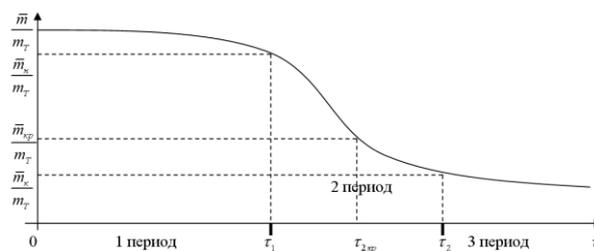


Рисунок 4 – Изменение начальной скорости снаряда

На основе данных графиков, представленных на рис. 2 и рис. 4 строится кривая изменения относительного значения массы выстрела в зависимости от времени хранения порохового заряда (рис. 5).



$m_T$  – масса выстрела из Таблиц комплектации ГБП-80

Рисунок 5 – Модель эксплуатации артиллерийских боеприпасов

На основе зависимостей, показанных на рис. 2 и 5, разрабатывается модель эксплуатации артиллерийских боеприпасов малого калибра.

Модель эксплуатации включает три этапа: первый – соответствует этапу, когда за счет действия замедлителя плотность пороха, следовательно, и его масса, как основная его характеристика, остаются практически неизменными. В этом периоде продукты автокаталитической реакции связываются стабилизатором и скорость их протекания мала, что не оказывает существенного влияния на физико-химические свойства пороха. На первом этапе предполагается, что масса пороха изменяется незначительно и определить ее можно по представленной методике.

Во втором периоде масса пороха резко снижается. Допустимое минимальное значение массы пороха может быть определено на основе минимально допустимой скорости снаряда.

В третьем периоде скорость изменения массы пороха снижается постепенно за счет истощения компонентов реакции. В этом периоде энергетическая ценность пороха как топлива уменьшается до такой степени, что совершаемая им работа не обеспечивает минимально допустимую скорость снаряда, а в предельном случае снаряд может остаться в стволе орудия.

С помощью этой модели возможна оценка и прогнозирование изменения физико-химических свойств пороховых зарядов по величине массы выстрелов унитарного снаряжения.

Разработанный метод оценки и прогнозирования физико-химических свойств порохов по величине его массы позволяет использовать его в местах хранения, что является существенным преимуществом.

Использование данных, прогнозирующих физико-химические свойства пороха при длительном хранении, создает предпосылки для перехода эксплуатации вооружения по состоянию, без разработки и применения диагностической аппаратуры.

Для обеспечения точности стрельбы необходимо компенсировать изменение начальной скорости снаряда, обусловленное длительным хранением боеприпаса. Метод расчета компенсационных поправок показан в статье. При использовании этого метода надо учитывать, что небольшие отклонения в условиях заряжания, многие из которых носят случайный характер, приводят к разбросу скоростей. Поэтому определение небольших изменений в условиях заряжания в большинстве случаев является вероятностной задачей для боеприпасов, которые хранились одинаковое время при одних и тех же условиях. Поскольку допустимые разбросы скоростей ограничиваются определенными границами, то и отклонения в свойствах порохов должны ограничиваться определенными границами.

В целом, теоретические результаты и данные экспериментальных исследований, полученные в работе, могут быть положены в основу для перехода на эксплуатацию боеприпасов, срок хранения которых более 25 лет.

В дальнейшем необходимо разработать методику измерения массы заряда без разпатронирования выстрела унитарного заряжания и методику косвенного определения начальной скорости снаряда. Причем,

применяемые экспериментальные методы должны отличаться простотой и доступностью, а также единством методической базы. Затем, на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований, оценить периоды эксплуатации 30-мм артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры.

Литература

1. Тимчасове Рішення про встановлення термінів зберігання (технічної придатності) боеприпасів артилерії, засобів ближнього бою та їх комплектуючих елементів// Утверждено первым заместителем Министра машиностроения, военно-промышленного комплекса и конверсии Украины 25 ноября 1996 года №131/Н/02-9.
2. Хайков В.Л. Возможности радиационных методов неразрушающего контроля для повышения объективности диагностики технического состояния артиллерийских боеприпасов. / В.Л. Хайков // Збірник наукових праць АВМС – Севастополь, 2011 – Вип.1 (5) – С. 26–36.
3. Анипко О.Б., Гончаренко П.Д., Хайков В.Л. Преждевременные разрывы снарядов корабельной артиллерии и методы их предупреждения. Зарубежный опыт./ О.Б. Анипко, П.Д. Гончаренко, В.Л. Хайков // Збірник наукових праць АВМС – Севастополь, 2011 – Вип.4 (8) С. 6–16.
4. Анипко О.Б., Бусяк Ю.М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения: монографія / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк – Х.: Академия ВВ МВД України, 2009. – 128 с.
5. Бирюков И.Ю. Пороховые заряды длительных сроков хранения: проблемы, задачи и пути их решения / И.Ю. Бирюков // Інтегровані технології та енергозбереження. – НТУ «ХПИ»Х.: 2006.– №2.– С. 50–55.
6. Черкашин А.Д. Проверка достоверности прогноза и коррекции зависимости изменения начальной скорости пули 9 мм пистолетного патрона ПМ / А.Д.Черкашин // Системи озброєння і військова техніка. – Х., 2010. – №3 (23) – С. 90–92.
7. Explosive effects and applications. / [edited by] J.A. Zukas., W.P. Walters. – New York. Spring-Verlag, 1998. – 240 p.
8. Свешников А.А. Теория стрельбы и боевой эффективности корабельного оружия/ А.А. Свешников, В.А. Кодрау – Ленинград. Военно-морская Академия, 1971. – 532 с.
9. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества/ А.Г.Горст – М.: Машиностроение, 1972. – 208 с.
10. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ / К.К.Андреев – М. Наука, 1966. – 339 с.
11. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика / М.Е. Серебряков, К.К. Гретен, Г.В. Оппоков.; под ред. Серебрякова М.Е. – М.: Оборонгиз, 1939. – 592 с.
12. Чернов В.П. Поправочные формулы внутренней баллистики: монография / В.П. Чернов – М.: Воениздат, 1956. – 368 с.
13. Горохов М.С. Внутренняя баллистика ствольных систем / М.С. Горохов – М.: Воениздат, 1985. – 155 с.

УДК 623.52

Вертелецкий В.Ф.

**ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДУ І ПОЧАТКОВОЇ ШВИДКОСТІ 30 мм АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ МОРСЬКОЇ НОМЕНКЛАТУРИ**

Розглядається варіант вирішення завдання визначення зміни властивостей порохових зарядів артилерійських боеприпасів малого калібру на післягарантійних етапах експлуатації на основі теоретичних результатів і експериментальних даних щодо зміни маси пострілів патронного зарядження і початкової швидкості снарядів

Verteletsky V.F.

**CHANGES FORECASTING IN THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF A PROPELLANT CHARGES AND THE MUZZLE VELOCITY OF 30 mm NAVAL GUN AMMUNITION**

One solution to the problem of properties change determination of propellant charges developed. Small-caliber ammunition after shelf life state phase were considered. The solution is based on the theoretical results and experimental data of mass-change in propellant charges and ion muzzle velocity of projectiles.