

УДК 623.4:623.5



О. М. Крюков



Р. С. Мельніков

МОДЕЛЮВАННЯ ДЕГРАДАЦІЇ МЕТАЛЬНОГО ЗАРЯДУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ВПЛИВУ ДЕФЕКТІВ БОЄПРИПАСІВ НА БАЛІСТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ПОСТРІЛУ

Викладено методичний підхід до моделювання процесу пострілу чисельним методом з урахуванням деградаційних змін параметрів метального заряду. Проведено апробацію методичних основ моделювання процесу пострілу та аналіз її результатів. Показано, що за виглядом кривих, які відображають балістичні елементи пострілу, можна встановити факт деградації метального заряду та визначити її ступінь.

К л ю ч о в і с л о в а: службово-бойове завдання, боєприпаси, метальний заряд, канал ствола, метальний елемент, технічний стан, моделювання процесу пострілу, балістичний елемент пострілу.

Постановка проблеми. Одним з проблемних питань, що постають перед силами безпеки, зокрема Національною гвардією України, при виконанні завдань забезпечення державної безпеки є те, що під час тривалого зберігання на металні заряди впливають негативні фактори, які спричинюють їх деградацію. Дослідженнями [1, 2, 3] доведено, що внаслідок деградації метального заряду (МЗ) сила порошу f зменшується за рахунок випаровування, ексудації та інших негативних факторів, які діють на металні заряди. Разом з тим збільшується швидкість u_1 горіння порошу за атмосферного тиску внаслідок збільшення зовнішньої поверхні порохового зерна. Зазначимо, що u_1 не набуватиме меншого значення ніж тоді, коли виготовлений МЗ (коли порохове зерно має наближену до ідеальної форму зовнішньої та внутрішньої поверхні). І навпаки, f безпосередньо після виробництва має найбільше значення, оскільки МЗ містить лише нерозкладені леткі та горючі субстанції.

Враховуючи специфіку завдань сил безпеки, способи та умови їх виконання, необхідно зважати на той факт, що термін та умови зберігання опосередковано впливають на характер перебігу внутрішньобалістичних процесів через зміну умов заряджання, f та u_1 [4].

Достатньо типовими є випадки втрати значної частини енергії МЗ через зменшення сили порошу внаслідок його деградації, що веде до спадання дульної швидкості метального елемента [5–8]. Зазвичай факт зменшення дульної швидкості можна встановити, застосовуючи відомі методи і засоби зовнішньобалістичних вимірювань [9–13]. Однак лише за результатами зовнішньобалістичних вимірювань не можливо встановити, чи супроводжується зменшення дульної швидкості за рахунок зменшення f одночасним небезпечним підвищенням p_m , спричиненим зростанням u_1 .

Непередбачувана деградація металних зарядів може призвести до небезпечного підвищення значення максимального тиску порохових газів p_m у каналі ствола. Про це опосередковано свідчить досвід військовослужбовців-кулеметників у зоні проведення операції Об'єднаних сил [14]. Ними відзначалися факти відмов кулеметів у разі застосування патронів, терміни зберігання яких 25 і більше років, які надходили з явною корозією металевої герметичної упаковки, а також з незначною корозією на гільзах. Після застосування таких боєприпасів спостерігались відхилення від нормальної роботи зброї, а саме: заклинювання кулеметів через порушення роботи автоматики при викиданні гільзи, деформація та надрив дульця гільзи, нехарактерний гучний звук пострілу, сильна віддача. Після місячного терміну використання зазначених боєприпасів кулемет переставав нормально працювати, і відбувалось його заклинювання в ході бойового застосування.

Таким чином, зростання значення p_m може перевищити розрахункову межу міцності каналу ствола та призвести до пошкодження зразка озброєння чи травмування особового складу. Тому значний практичний інтерес полягає у виявленні саме таких боєприпасів на ранніх стадіях, ще до їх бойового використання.

Діагностувати технічний стан боеприпасів доцільно методом, основаним на ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу (БЕП), – шляхом отримання залежності $p_d(t)$ для МЗ, що досліджується, та порівняння її з еталонною кривою $p_e(t)$ [15, 16, 17]. Для спрощення процедури ідентифікації технічного стану боеприпасів слід використовувати базу даних БЕП для дефектних металюних зарядів, на основі якої можливо встановити характер пошкодження та визначити ступінь придатності боеприпасів до використання. Отриману експериментально криву $p_d(t)$ можна аналізувати та співставляти з кривою $p_e(t)$ зазначеної бази даних. Така база даних може бути створена шляхом моделювання процесу пострілу зі змінюваними умовами заряджання, які відповідають зменшеній силі пороху та збільшеній швидкості його горіння за атмосферного тиску для різних ступенів деградації МЗ.

Отже, розроблення принципів моделювання процесу пострілу для різних ступенів деградації металюних зарядів є актуальним науковим завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У класичних [18, 19] та сучасних [20, 21] публікаціях розглядаються питання математичного моделювання процесу пострілу, однак моделювання проводиться без урахування деградації металюних зарядів.

Проведений аналіз свідчить, що в літературних джерелах за зазначеною тематикою [22, 23] відсутні результати досліджень і систематизована інформація про можливі межі змінювання значень f та u_1 для металюних зарядів різних боеприпасів, про взаємозв'язок відхилень f та u_1 від їх номінальних значень, а також про залежність цих параметрів від часу зберігання. Таким чином, вибираючи діапазони варіювання f та u_1 , доцільно враховувати результати окремих випробувань зразків МЗ тривалого зберігання [24, 25, 26].

Відомі методи розв'язування рівнянь внутрішньої балістики [26, 27, 28] не передбачають отримання кривих для БЕП з урахуванням одночасно змінюваних умов заряджання f та u_1 , що ускладнює виявлення металюних зарядів, застосування яких веде до небезпечного підвищення значення максимального тиску порохових газів p_m .

Таким чином, питання імплементування явища деградації МЗ у модель пострілу та дослідження результатів такого моделювання на цей час не отримали належного відображення у відомих джерелах.

Метою статті є обґрунтування принципів моделювання процесу пострілу із застосуванням боеприпасів з деградованими металюними зарядами, їх практична апробація та аналіз результатів моделювання.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо методичний підхід до моделювання процесу пострілу з урахуванням деградації МЗ. Він передбачає встановлення діапазонів варіювання умов заряджання, вибір методу та засобів розв'язування рівнянь внутрішньої балістики у моделюванні процесу пострілу, а також обґрунтування способу подання результатів моделювання.

Основою дослідження деградації металюних зарядів та отримання її математичного опису були результати досліджень, виконаних на базі 303-ї центральної артилерійської бази зберігання ракет і боеприпасів А 2192 [29, 30]. Вони дали можливість встановити межі варіювання умов заряджання, а саме: f та u_1 .

Досліджуватимемо окремий вплив зменшення сили пороху і зростання швидкості його горіння за атмосферного тиску та ефект від одночасного змінювання параметрів f та u_1 (табл. 1).

Т а б л и ц я 1

	$0,85f_{\text{НОМ}}$	$0,9f_{\text{НОМ}}$	$0,95f_{\text{НОМ}}$	$f_{\text{НОМ}}$
$u_{1\text{НОМ}}$	$0,85f_{\text{НОМ}}; u_{1\text{НОМ}}$	$0,9f_{\text{НОМ}}; u_{1\text{НОМ}}$	$0,95f_{\text{НОМ}}; u_{1\text{НОМ}}$	$f_{\text{НОМ}}; u_{1\text{НОМ}}$
$1,05u_{1\text{НОМ}}$	$0,85f_{\text{НОМ}}; 1,05u_{1\text{НОМ}}$	$0,9f_{\text{НОМ}}; 1,05u_{1\text{НОМ}}$	$0,95f_{\text{НОМ}}; 1,05u_{1\text{НОМ}}$	$f_{\text{НОМ}}; 1,05u_{1\text{НОМ}}$
$1,1u_{1\text{НОМ}}$	$0,85f_{\text{НОМ}}; 1,1u_{1\text{НОМ}}$	$0,9f_{\text{НОМ}}; 1,1u_{1\text{НОМ}}$	$0,95f_{\text{НОМ}}; 1,1u_{1\text{НОМ}}$	$f_{\text{НОМ}}; 1,1u_{1\text{НОМ}}$
$1,15u_{1\text{НОМ}}$	$0,85f_{\text{НОМ}}; 1,15u_{1\text{НОМ}}$	$0,9f_{\text{НОМ}}; 1,15u_{1\text{НОМ}}$	$0,95f_{\text{НОМ}}; 1,15u_{1\text{НОМ}}$	$f_{\text{НОМ}}; 1,15u_{1\text{НОМ}}$

Враховуючи суттєві обмеження аналітичних методів для моделювання процесу пострілу, а також можливості сучасних засобів обчислювальної техніки, доцільним є отримання розв'язків рівнянь внутрішньої балістики чисельним шляхом. Воно дозволяє здобути рішення із заданою точністю, яка визначатиметься кроком інтегрування за часом та точністю підготовки вихідних даних. Тому моделювання процесу пострілу виконаємо за допомогою розглянутого в статті [28] методу чисельного розв'язування рівнянь внутрішньої балістики з урахуванням варіюваних значень f та u_1 .

На основі викладеного методичного підходу змодельовано процес пострілу за наявності деградації

МЗ, при цьому було застосовано табличний процесор Microsoft Excel.

Приклади результатів такого моделювання для одного з поширених зразків вогнепальної зброї та боєприпасів (7,62 мм × 54 мм гвинтівковий патрон з кулею ЛПС в комплексі з 7,62-мм снайперською гвинтівкою Драгунова СВД) наведено у вигляді графіків залежностей тиску $p(t)$ порохових газів і швидкості руху металюного елемента в каналі ствола $v(t)$.

На рис. 1–4 наведено результати моделювання впливу деградації МЗ на перебіг процесу пострілу для випадків відсутності зміни жодного з параметрів f та u_1 («номінальні» криві) і за наявності зміни одного з цих параметрів у заданих межах.

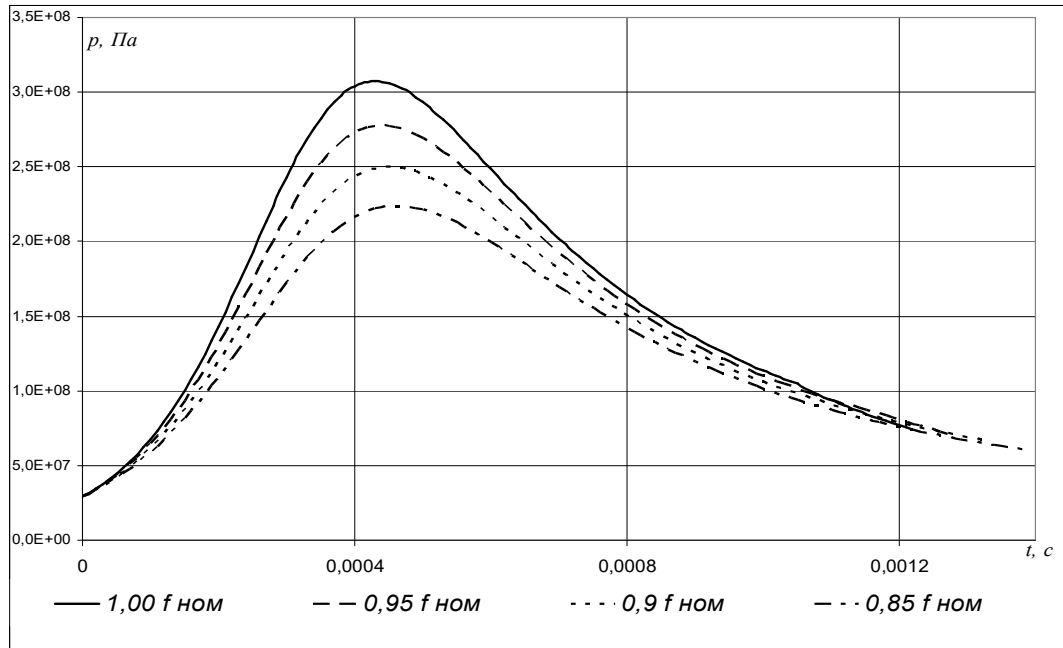


Рисунок 1 – Залежності $p(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($f = \text{var}$, $u_1 = \text{const}$)

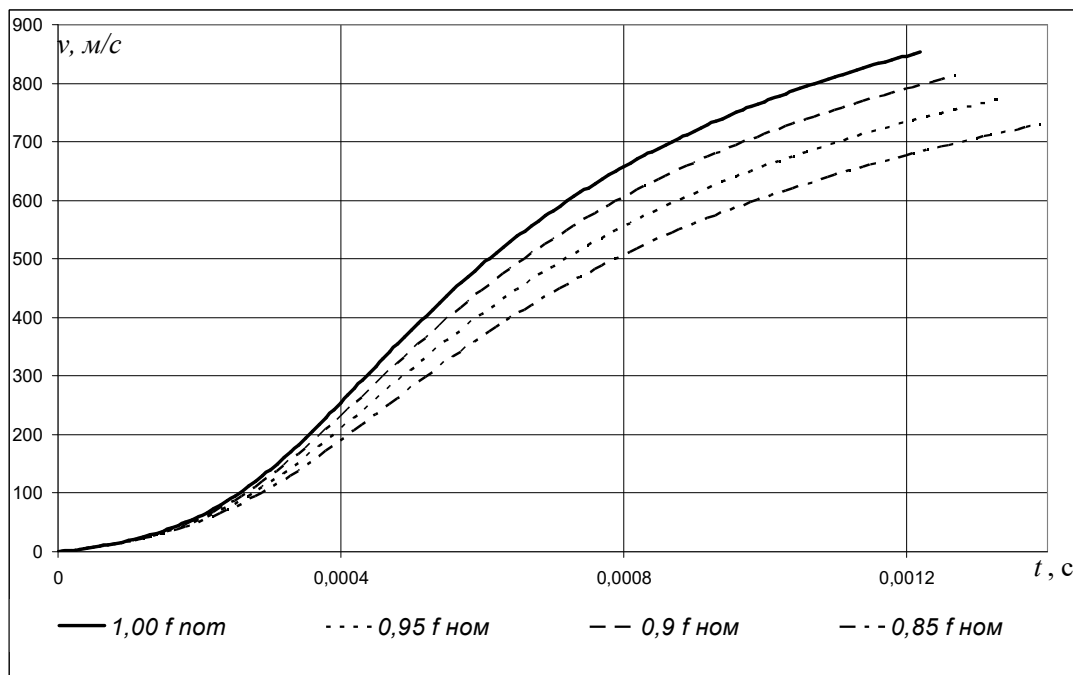


Рисунок 2 – Залежності $v(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($f = \text{var}$, $u_1 = \text{const}$)

Зменшення сили порошу f веде до спадання тиску порохових газів на ділянці очікуваного його максимуму, внаслідок чого швидкість горіння порошу уповільнюється, тиск досягає максимального значення з певним запізненням, а тривалість процесу пострілу, зокрема його першого періоду, збільшується. На графіках залежності $v(t)$ спостерігається «завалювання» кривих відносно номінальної кривої від самого початку руху металевого елемента.

Ефект від даного явища є некритичним лише у разі незначного (до 5...6 %) зменшення сили порошу (крива $0,95 f_{\text{ном}}$), оскільки спадання дульної швидкості при цьому не перевищує 5 %. При подальшому зменшенні сили порошу ефект стає критичним (спадання дульної швидкості значно перевищує 5 %). Як криві $p(t)$, так і криві $v(t)$ є достатньо інформативними, оскільки зменшення сили порошу за ними ідентифікується добре.

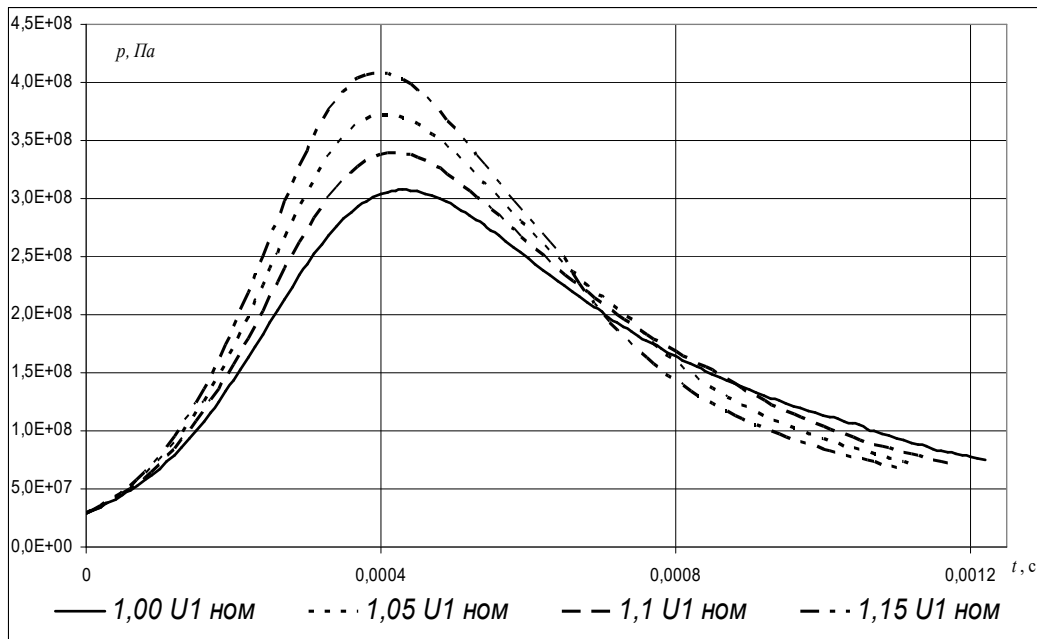


Рисунок 3 – Залежності $p(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($u_1 = \text{var}$, $f = \text{const}$)

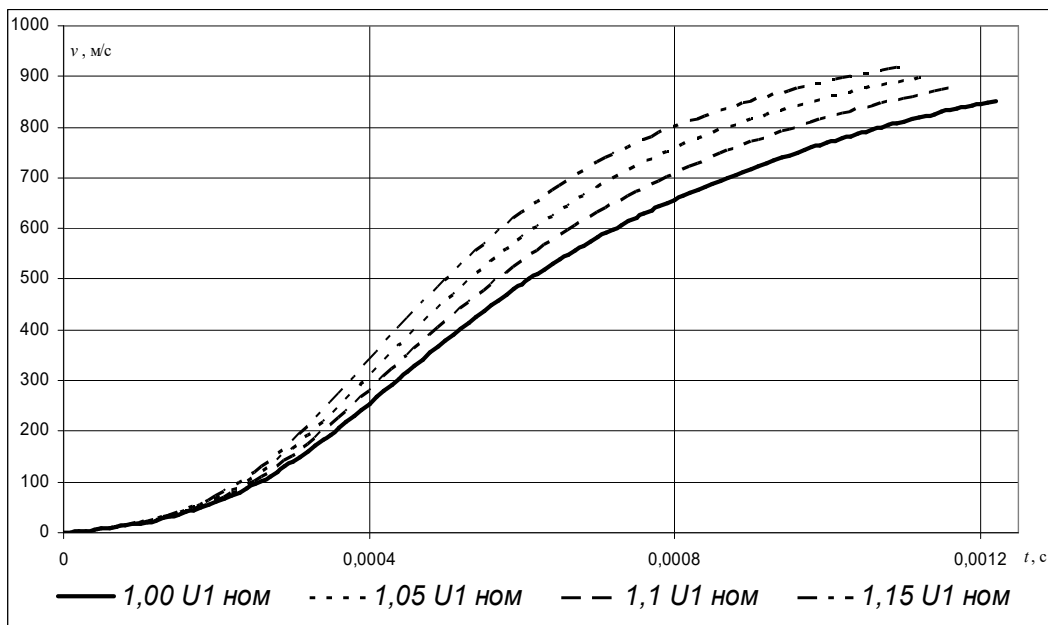


Рисунок 4 – Залежності $v(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($u_1 = \text{var}$, $f = \text{const}$)

Збільшення швидкості u_1 горіння пороху за атмосферного тиску (відносно номінального значення) веде до прискорення темпів перебігу процесу пострілу. Тиск досягає максимального значення p_m дещо раніше за часом, при цьому значення максимального тиску p_m зростає (точка $p_m(t_m)$ знаходиться на графіку лівіше та вище). Незважаючи на деяке спадання кривої тиску порохових газів на ділянці після завершення першого періоду пострілу, загальна площа під кривою тиску збільшується, що веде до зростання дульної швидкості. На графіках залежності $v(t)$ спостерігається піднімання кривих відносно номінальної кривої від самого початку руху металюного елемента.

У випадку незначного (до 5 %) збільшення швидкості горіння пороху (крива 1,05 $u_{1ном}$) ефект від даного явища є некритичним, оскільки збільшення дульної швидкості при цьому не перевищує 3 %, а максимальний тиск збільшується не більше ніж на 10 %, що відповідає запасу міцності ствола. При подальшому збільшенні швидкості горіння пороху ефект стає критичним (наприклад, для кривої 1,15 $u_{1ном}$ зростання дульної швидкості перевищує 5 %, а зростання максимального тиску перевищує 30 %). Як криві $p(t)$, так і криві $v(t)$ є достатньо інформативними, оскільки явище збільшення швидкості горіння пороху за атмосферного тиску ідентифікується добре.

Для візуалізації результатів моделювання одночасного змінювання сили пороху і швидкості його горіння за атмосферного тиску ($f = var, u_1 = var$) розміщення усіх сімейств графіків у межах одного рисунку не є доцільним, оскільки наявність значної кількості кривих ускладнює сприйняття візуальної інформації. Тому для прикладу на рис. 5 та 6 наведено лише деякі з графіків залежностей $p(t)$, $v(t)$, які ілюструють саме ефект від одночасного змінювання f та u_1 у різні боки від відповідних номінальних значень.

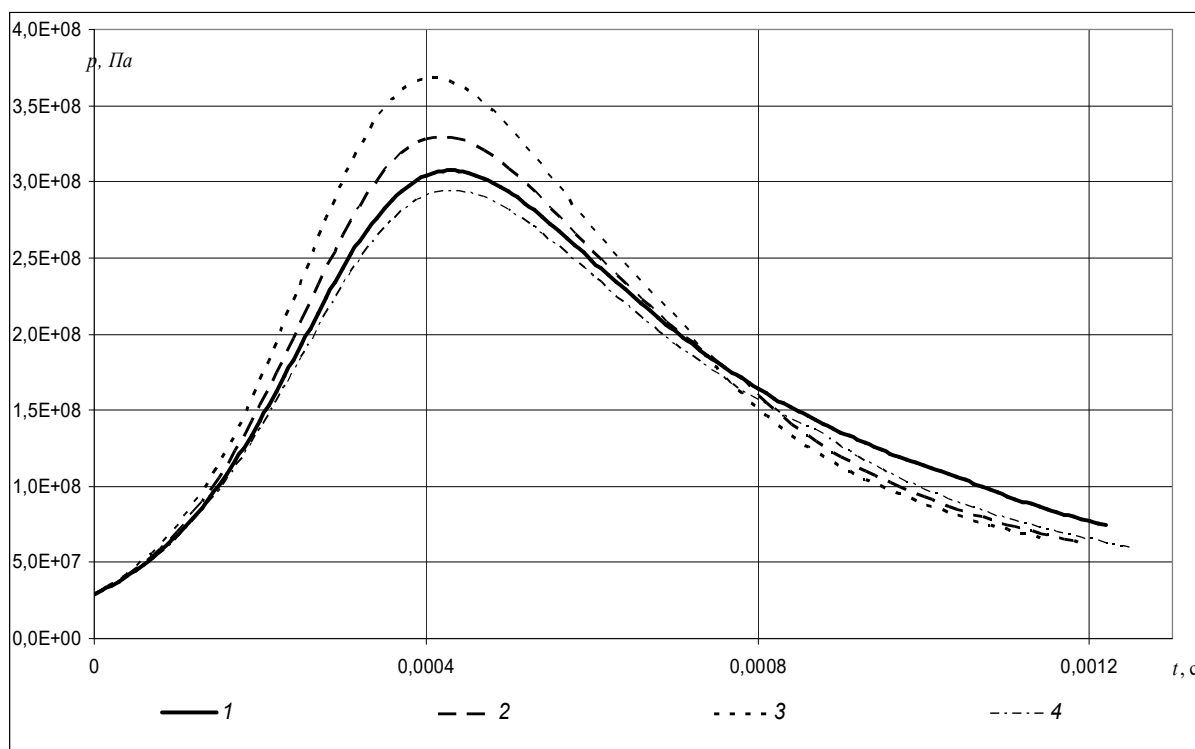


Рисунок 5 – Залежності $p(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($f = var, u_1 = var$)

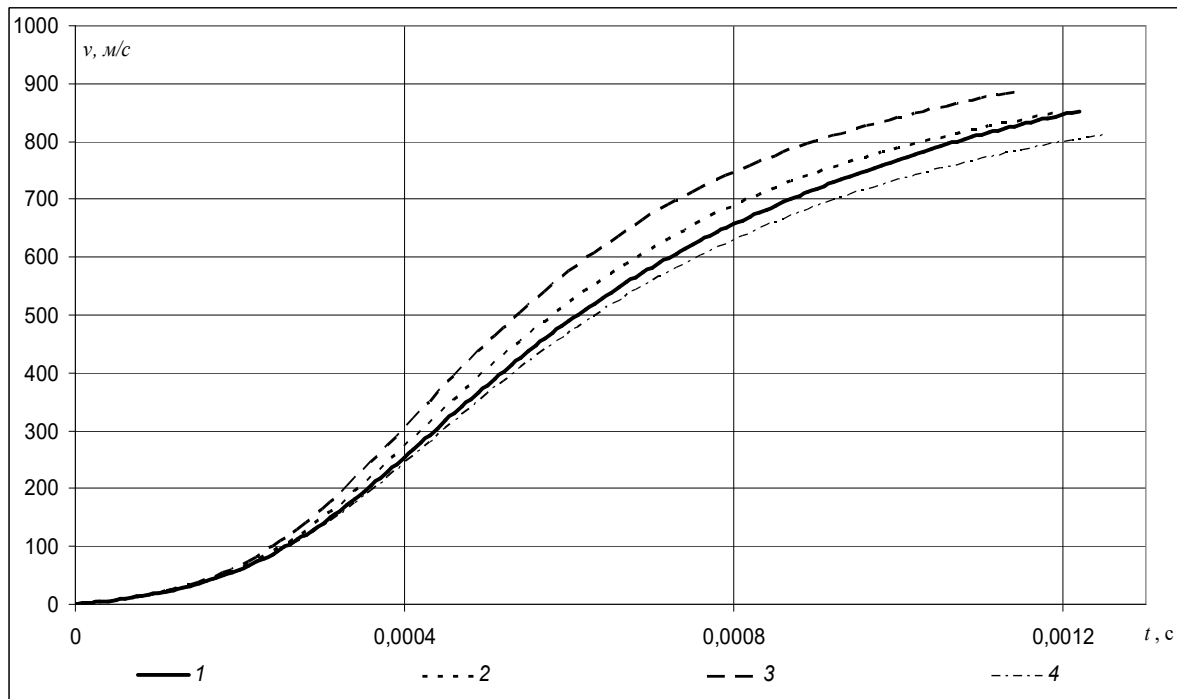


Рисунок 6 – Залежності $v(t)$ для 7,62-мм снайперської гвинтівки Драгунова СВД ($f = \text{var}$, $u_1 = \text{var}$)

На рис. 5 та 6 наведено номінальну криву 1 та криві 2, 3, 4, отримані для одного (максимального в діапазоні варіювання) значення параметра u_1 і трьох значень параметра f (змінюваних у зазначеному діапазоні варіювання).

Як видно з графіків, вплив від збільшення u_1 може частково компенсувати вплив від зменшення f (криві 1 та 3). Для умов, за яких отримана крива 3, спостерігається прискорення процесу горіння МЗ, і тиск досягає свого максимуму дещо раніше за часом, а його значення перевищує p_m для номінальної кривої. На початковій ділянці графіку крива тиску 3 вище номінальної кривої 1, а на кінцевій ділянці внаслідок більш швидкого закінчення першого періоду пострілу вона нижче номінальної кривої 1. Внаслідок цього площа під кривою 3 практично дорівнює площі під кривою 1, тому дульні швидкості v_d для цих випадків ідентичні.

Форма кривих $v(t)$ (рис. 6) показує відмінності перебігу процесів пострілу: крива 3 свідчить про збільшений темп приросту швидкості на початковій ділянці і сповільнений приріст швидкості на кінцевій. Врешті ці криві виходять на однакові значення дульної швидкості. Однак відмінності між кривими для $v(t)$ є менш наочними, ніж відмінності між кривими для $p(t)$.

Таким чином, за виглядом кривої $p(t)$ або $v(t)$ можна встановити факт деградації МЗ, який не виявляється за відхиленням дульної швидкості метального елемента. Також зазначимо, що криві залежностей $p(t)$ є більш інформативними, ніж криві залежностей $v(t)$.

Висновки

Запропоновано методичний підхід до моделювання процесу пострілу з урахуванням деградації МЗ. Встановлено діапазони варіювання умов заряджання, вибрано метод розв'язування рівнянь внутрішньої балістики у моделюванні процесу пострілу, а також обґрунтовано спосіб подання результатів моделювання.

Проведено апробацію такого методичного підходу шляхом моделювання процесу пострілу за наявності деградації МЗ зі змінюваними силою пороху та швидкістю його горіння за атмосферного тиску.

Виявлення початку деградації МЗ та факту некритичної зміни його характеристик (f та u_1) дозволить запобігти її подальшому розвитку або скорегувати режим зберігання боєприпасів. Виявлення некондиційних боєприпасів (з критичною деградацією МЗ) дозволить запобігти застосуванню їх за призначенням. Виявлення факту небезпечного зростання максимального тиску p_m , що може призвести до руйнування каналу ствола, для певної партії боєприпасів тривалого зберігання

дозволить виключити випадки виходу зброї з ладу і травмування особового складу. Крім того, запропоновані рішення можуть застосовуватися у класифікуванні некондиційних боєприпасів на безпечні (за наявності лише зменшення сили пороху) та небезпечні (за наявності підвищення швидкості горіння пороху і небезпечного зростання p_m).

Подальші дослідження доцільно зосередити в напрямках удосконалення методів оброблення вимірювальної інформації про балістичні елементи пострілу у процесі ідентифікації технічного стану боєприпасів.

Перелік джерел посилання

1. Косточко А. В., Казбан Б. М. Пороха, ракетные твердые топлива и их свойства : учеб. пособие. Казань : КГТУ, 2014. 400 с.
2. Вертелецкий В. Ф. Прогнозирование изменения физико-химических свойств порохового заряда и начальной скорости 30 мм артиллерийских боеприпасов морской номенклатуры. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2012. № 2. С. 24–31.
3. Талин Д. Д. Прогнозирование сроков служебной пригодности зарядов из порохов и твердых ракетных топлив. Пермь : ПГТУ, 2006. С. 24–31.
4. Зеленский В. П. Эксплуатационные свойства порохов и зарядов. Пенза : ПВАИУ, 1975. 358 с.
5. Коновалов А. А. Внешняя баллистика. Москва : ЦНИИ Информации, 1979. 228 с.
6. Шапиро Я. М. Внешняя баллистика. Москва : Оборонгиз, 1946. 408 с.
7. Дмитриевский А. А., Лысенко Л. Н. Внешняя баллистика. Москва : Машиностроение, 2005. 608 с.
8. Лысенко Л. Н. Внешняя баллистика. Санкт-Петербург : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. 510 с.
9. Датчик миттевих значень тиску : пат. 53153 Україна : МПК G 01 L 23/00. заявл. 01.04.10; опубл. 27.09.10, Бюл. № 18.
10. Крюков О. М., Александров О. А. Шляхи підвищення точності моделювання внутрішньобалістичних процесів. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків, 2009. Вип. 1(13). С. 11–14.
11. Крюков О. М., Александров О. А. Математична модель датчика для вимірювання миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 4 (24). С. 71–74.
12. Забудский Н. А. Внешняя баллистика. Москва : Машиностроение, 2014. 474 с.
13. Рассел Джесси. Баллистика. Москва : Книга по требованию, 2012. 120 с.
14. Антикор : нац. антикорупц. портал. URL: https://antikor.com.ua/articles/160500-v_ukraine_zakanchivajutsja_zapasy_boeprigrasov (дата звернення: 20.09.2021).
15. Крюков О. М., Мельников Р. С., Музичук В. А. Метод діагностування технічного стану каналів стволів та боєприпасів на основі ідентифікації характеристик балістичних елементів пострілу. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2018. Вип. 2 (32). С. 5–11.
16. Крюков О. М., Мельников Р. С. Математичне моделювання процесу пострілу з урахуванням роздуття каналу ствола вогнепальної зброї як засіб впливу на ефективність виконання службово-бойових завдань силами безпеки. *Честь і закон*. 2020. № 2 (73). С. 61–73.
17. Крюков О. М., Мельников Р. С. Математичне моделювання процесу пострілу для експлуатаційного діагностування стирання внутрішньої поверхні каналу ствола під час виконання завдань забезпечення державної безпеки. *Честь і закон*. 2021. № 1 (76). С. 46–57.
18. Горст А. Г. Пороха и взрывчатые вещества. Москва : Машиностроение, 1972. 208 с.
19. Шагов Ю. В. Взрывчатые вещества и пороха. Москва : Воениздат, 1976. 121 с.
20. Дик В. Н. Взрывчатые вещества, пороха и боеприпасы отечественного производства. Минск : Охотконтракт. Ч. 1, 2009. 272 с.
21. Ассовский И. Г. Физика горения и внутренняя баллистика. Москва : Наука, 2005. 357 с.
22. Анипко О. Б., Гончаренко П. Д., Хайков В. Л. Живучесть стволов корабельных установок и геронтологические изменения свойств взрывчатых веществ артбоеприпасов. *Збірник наукових праць Академії Військово-Морських сил ім. П. С. Нахімова*. Одеса, 2011. № 3(7).
23. Wilson J. A. A new approach for service life evaluation of gun propellant. Naval surface warfare center. Crane. USA. 1998. 10 p.
24. Миропольский Ф. П., Кувеко А. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и ракетные

двигатели твердого топлива : учеб. пособие. Москва : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1987. 311 с.

25. Анипко О. Б., Бусяк Ю. М. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения : монография. Харьков : Академия внутренних войск МВД Украины, 2009. 128 с.

26. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет. Москва : Оборонгиз, 1962. 703 с.

27. Балаганский И. А. Основы баллистики. Новосибирск : НГТУ, 2017. 200 с.

28. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics / O. M. Kriukov et al. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. № 5 (97). P. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.

29. Озброєння Збройних Сил України. URL: <https://web.archive.org/web/20201028132603/https://uk.wikipedia.org/wiki> (дата звернення: 20.09.2021).

30. На Житомирщині пройшли випробування нових боеприпасів для стрілецької зброї. URL: <https://www.unian.ua/economics/industry/1536677-na-jitomirschini-proyshli-viprobuвання-novih-boepripasiv-dlya-striletskoji-zbroji.html> (дата звернення: 20.09.2021).

Стаття надійшла до редакції 29.11.2021 р.

УДК 623.4:623.5

А. М. Крюков, Р. С. Мельников

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ МЕТАТЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЛИЯНИЯ ДЕФЕКТОВ БОЕПРИПАСОВ НА БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЫСТРЕЛА

Изложен методический подход к моделированию процесса выстрела численным методом с учетом деградационных изменений параметров метательного заряда. Проведена апробация методических основ моделирования процесса выстрела и анализ ее результатов. Показано, что по виду кривых, которые отражают баллистические элементы выстрела, можно установить факт деградации метательного заряда и определить ее степень.

К л ю ч е в ы е с л о в а: служебно-боевое задание, боеприпасы, метательный заряд, канал ствола, метательный элемент, техническое состояние, моделирование процесса выстрела, баллистический элемент выстрела.

UDC 623.4:623.5

O. Kriukov, R. Melnikov

MODELING OF THE DEGRADATION OF A PROPELLANT CHARGE IN THE STUDY OF THE INFLUENCE OF AMMUNITION DEFECTS ON THE BALLISTIC ELEMENTS OF A SHOT

The limited possibilities of methods and means of diagnosing the technical condition of ammunition for barrel systems are shown. A promising method for diagnosing defects in ammunition, in particular, degradation of propellant charges, which involves the use of measuring information about the ballistic elements of the shot, is considered. The application of this method should be based on the use of a database of ballistic elements of the shot for defective propellant charges of various degrees of damage.

The purpose of the article is to obtain the principles of mathematical modeling of the process of firing ammunition with degraded propellant charges, check the adequacy of the mathematical model and analyze the simulation results.

For mathematical modeling, ranges for varying loading conditions are established, a method for solving internal ballistics equations in modeling the firing process is chosen, and a method for presenting modeling results is justified.

Based on the results of modeling, curves of ballistic elements of a shot for firearms were obtained in the

presence of degradation of propellant charges of various degrees, and their analysis was carried out.

It is shown that detecting the degradation of a propellant charge will prevent its further development, adjust the mode of storage of ammunition, and also exclude the use of defective ammunition for its intended purpose. Detection of a dangerous increase in the maximum pressure of powder gases will protect the use of weapons and eliminate cases of their failure and injury to personnel. The proposed solutions can also be applied in the classification of ammunition.

К e y w o r d s: service and combat task, ammunition, propellant charge, barrel bore, methane element, technical condition, simulation of the shot process, ballistic element of the shot.

Крюков Александр Михайлович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-4194-6081>

Мельников Роман Сергійович – доктор філософії, виконуючий обов'язки начальника науково-організаційного відділу Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0003-3517-2040>