

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.526

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/05>**Березанський В.Г.**

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Березанський О.Г.

Військовий коледж сержантського складу

Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Баранік О.М.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Константинов А.О.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Свінцицький В.В.

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України

ПІДХІД МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СНАРЯДІВ АВІАЦІЙНИХ ПАТРОНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ УЗАГАЛЬНЕНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ

Стаття знайомить із дослідженням напрямів удосконалення елементів конструкції снарядів авіаційних артилерійських патронів. Виявлено шляхи зменшення зношування внутрішньої частини каналу ствола авіаційної артилерійської зброї в системі «ствол-снаряд». Запропоновано метод узагальненого параметричного моделювання для вирішення завдання механічного зношування каналу ствола та забезпечення експлуатаційної характеристики ствола – живучості.

Для чинної системи авіаційної артилерійської зброї одним із напрямів їх удосконалення є застосування новітніх технологій матеріалів саме в конструкції авіаційних артилерійських патронів.

У результаті аналізу зношування каналу ствола авіаційної артилерійської зброї встановлено, що метод узагальненого параметричного моделювання тактико-технічних характеристик ствола дає змогу виявити тенденції підвищення живучості ствола авіаційної артилерійської зброї під час використання новітніх технологій у сфері виробництва авіаційного озброєння. Такий підхід дає змогу враховувати параметри та характеристики елементів і систем, що змінюються в процесі експлуатації та бойового застосування зразків, і сформувати напрями вдосконалення авіаційної артилерійської зброї.

Проведено порівняльну оцінку живучості ствола авіаційної артилерійської зброї з урахуванням зміни конструкції снаряду та матеріалів ведучих поясків. Аналіз отриманих результатів свідчить, що в умовах застосування новітніх матеріалів ведучих поясків (полімерів) у конструкції снарядів існує можливість підвищення живучості ствола авіаційної артилерійської зброї у 2,5 рази. Визначено один із альтернативних напрямів удосконалення конструкції авіаційного снаряду, а саме елемента ведучого пояска снаряду, який забезпечить зменшення механічного зношування авіаційного артилерійського ствола з урахуванням форми конструкції та матеріалу ведучого пояска.

Ключові слова: снаряд, патрон, ведучий поясок, живучість, ствол, зношування, коефіцієнт тертя.

Постановка проблеми. Авіаційний артилерійський патрон являє собою складну конструкцію, особливо снаряд патрона. Він виготовляється з високою технологічною складністю, однак, незважаючи на таку складність, елементи конструкції

снаряду під час взаємодії з поверхнею каналу ствола негативно впливають на механічне зношування ствола під час стрільби.

Наявна конструкція снаряду включає мідний ведучий поясок, який, взаємодіючи з нарізною

частиною ствола авіаційної артилерійської зброї (далі – ААЗ), приводить до втрати живучості ствола.

На живучість ствола ААЗ впливають температурні процеси в каналі ствола, що посилюють механічне зношування каналу ствола, які залежать від довжини черги та кількості черг під час стрільби зі зброї, паузами між чергами, наявністю системи охолодження зброї, останнім часом, невідповідність балістичних характеристик порохів зарядів авіаційних патронів під час їх тривалого зберігання [1, с. 7].

Найбільш вагомим і негативним є механічне зношування каналу ствола ААЗ, яке викликано передусім складними фізико-хімічними процесами в каналі ствола, що призводить до його деформації та втрати живучості ствола.

Сьогодні основними тенденціями вдосконалення ААЗ є пошук і застосування нових фізичних принципів дії зброї, підвищення точності бойового застосування зброї, а також удосконалення конструкції авіаційних боєприпасів.

Одним із шляхів удосконалення наявної системи ААЗ, на просторі СНД, є удосконалення конструкції авіаційних артилерійських патронів, шляхом застосування в конструкції снарядів і патронів матеріалів, які призводять до зменшення швидкості зношування ствола.

У зв'язку з цим актуальним залишається завдання дослідження впливу матеріалів в елементах конструкції снарядів авіаційних артилерійських патронів з метою підвищення живучості ствола під час технічної експлуатації ААЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу науково-технічних публікацій [2–6] визначено, що процес механічного зношування каналу ствола являє собою складне завдання й потребує системного підходу з урахуванням трибомеханічних процесів у стволі. Дифузні процеси, що відбуваються у стволі, необхідно враховувати під час моделювання зношування ствола під час вибору марки пороху, марки сталі та фрикційних матеріалів, що взаємодіють із внутрішньою частиною ствола.

Поняття зношування ствола та живучість ствола тісно пов'язані між собою, тому дослідження завдання доцільно розглядати як єдине ціле у вигляді системи «ствол-снаряд».

Так, у праці [2, с. 11] розглядаються основні причини зношування нарізних стволів: максимальний тиск і температура порохів газів у стволі, тиск снаряда на бічну грань нарізу, тертя об поверхню каналу при русі кулі по нарізах.

При цьому змінними величинами є тиск порохів газів і швидкість горіння порохів заряду, які прямо залежать від стану порохів заряду. Автори запропонували вираз Габо-Слухоцького для оцінювання зміни живучості ствола під час використання боєприпасів різних строків експлуатації.

Автори в роботі [3, с. 116] стверджують, що в разі тривалого зберігання боєприпасів максимальний тиск зростає, а дульний тиск падає. Запропоновано модель для відносного аналізу стану й прогнозування живучості стволів стрілецької зброї, але вона орієнтована на нові боєприпаси зі свіжими порохами.

У роботі [4, с. 86] автор приводить методикою В.А. Балакіна експериментального визначення сил тертя в процесі пострілу, однак методикою можна користуватися тільки на початковій ділянці руху, коли швидкість снаряду ще досить мала.

Авторами [5, с. 129] проведено аналіз методик визначення коефіцієнтів тертя під час використання різних матеріалів, представлено залежність коефіцієнта тертя від температури, модель С.І. Голубкіна. Представлені методики дають змогу використовувати не довідникові величини коефіцієнта тертя, а значення коефіцієнтів тертя для різних умов тертя й матеріалів.

Одним із підходів дослідження тактико-технічних характеристик (далі – ТТХ) озброєння та військової техніки на етапах проектування й у процесі модернізації автори пропонують підхід на базі методу узагальненого параметричного моделювання складних систем [6, с. 23], який дає змогу провести параметричний аналіз з обґрунтуванням параметрів елементів озброєння.

Постановка завдання. Мета статті – обґрунтування напрямів удосконалення конструктивних параметрів снарядів сучасних авіаційних артилерійських патронів для забезпечення експлуатаційних характеристик ствола авіаційної артилерійської зброї.

Виклад основного матеріалу дослідження. Живучість ствола ААЗ є важливою експлуатаційною характеристикою зброї, яка в 3–5 разів менша щодо ресурсу ААЗ. Таке співвідношення вимагає постійного пошуку підходів до підвищення живучості стволів ААЗ.

На зношування поверхні каналу ствола впливає багато факторів: конструктивних, технологічних, балістичних, експлуатаційних [2, с. 11]. Основним негативним фактором є тертя мідного ведучого пояса (далі – МВП) снаряда під час його руху по каналу ствола.

Дослідженням процесу зношування стволів як стрілецької, так й автоматичної зброї займалася низка вчених, які процес зношування ствола розглядали як систему «ствол-патрон». Під час взаємодії снаряду з каналом ствола виникає сила тертя $F_{тр}$, яка залежить від радіального контактного напруження σ_r і коефіцієнта тертя f .

Процес фрикційної взаємодії ведучого пояска з нарізами каналу ствола супроводжується зношуванням обох елементів пари тертя, яка розглядається [4, с. 84].

Для виготовлення стволів на цей час використовуються певні марки сталей. Хімічний склад і механічні якості цих сталей дещо впливають на живучість стволів. Одним із представників таких сталей є марка сталі 30ХН2МФА.

Нагрівання гарматних стволів є серйозною перешкодою збільшення темпу стрільби зброї, так як підвищення темпу стрільби та довжини черги зброї пов'язано зі збільшенням інтенсивності нагрівання, що призводить до підвищення температури внутрішньої поверхні ствола і, як наслідок, підвищення інтенсивності зношування живучості ствола.

У зв'язку з виникненням температурних напружень виникає необхідність під час проектування стволів ААЗ оцінювати їх вплив на загальний напружений стан розігрітого ствола під час пострілу. Зменшення температурних напружень у стволі можливе в разі використання пари тертя «метал-неметал». Такий підхід можливий під час використання досягнень науки та техніки й технологій отримання матеріалів-неметалів ведучого пояска, що мають менший питомий тиск на бойову грань нарізу ствола.

Для вирішення завдання дослідження пропонується метод узагальненого параметричного моделювання, який дає змогу застосувати параметричний аналіз визначених ТТХ ААЗ та провести оцінювання за узагальненим критерієм з урахуванням варіації й специфіки параметрів. Цільову функцію для узагальнених параметрів $P = \{pi\}$ з обмеженнями в задачі, що досліджується, представимо у вигляді:

$$F(p) \rightarrow \min; \quad L(p, \sigma, f, t) = 0; \quad G_j \leq [G_j]; \quad T_k \geq [T_k], \quad (1)$$

де F – цільова функція, L – оператор, що описує фізико-механічний процес або стан об'єкту у вигляді просторово-часового розподілу; $G_j, [G_j]$ – характеристики процесів і станів, а також граничні їх величини, $j=1, \dots, N_G$; $T_k, [T_k]$ – фактичні

та задані ТТХ, ієрархічні рівні компонент ТТХ зразка озброєння, $k=1, \dots, N_T$.

У цьому разі опис процесу зношування каналу ствола під час пострілів представляє дослідження задачі внутрішньої балістики та співвідношення процесу взаємодії динамічного навантаження каналу ствола з радіальною контактною напругою й коефіцієнтом тертя:

$$L_1(p_d, v_d, q_d, t) = 0; \quad (2)$$

$$L_2(q_d, \sigma, t) = 0, \quad (3)$$

де p_d – параметри внутрішньої балістики ствола (дульна швидкість, дульний тиск, маса порохового заряду); v_d – змінні, що описують положення снаряду у каналі ствола; q_d – кінематичні та силові характеристики системи «ствол-снаряд»; σ – змінні, що описують систему тіл «ствол-снаряд».

Використовуючи системний підхід, задачу механічного зношування авіаційного артилерійського ствола можемо представити у вигляді ієрархічної структури з деталізацією характеристик зброї та матеріалів (рис. 1). Матеріал ведучих поясків снарядів представлено як металів, так і різновидності пластмас – пластмасові ведучі пояски (далі – ПВП).

Задача визначення балістичних характеристик снарядів і зміни їх властивостей у результаті зміни маси патрона може бути вирішена на основі комплексного застосування теоретичних методів з вирішенням задач внутрішньої балістики.

Дослідження мікротвердості каналу ствола по глибині проведемо враховуючи фізичний зміст коефіцієнта тертя:

$$f = \frac{F_d}{N} + \frac{F_a}{N} = f_d + f_a, \quad (4)$$

де f – коефіцієнт тертя; F_d та F_a – деформаційний та адгезійний складники сили тертя; N – гравітаційний складник тертя, f_d та f_a – деформаційний та адгезійний складники коефіцієнта тертя.

Сьогодні ширшого використання набувають полімерні матеріали в механізмах ковзання й тертя поряд із металами [7, с. 106]. Для двох пар тертя «метал-метал» і «метал-неметал» визначені коефіцієнти тертя за методиками [5; 7]. Результати розрахунків коефіцієнтів тертя для пар представлені в таблиці 1.

Аналіз результатів у таблиці 1 свідчить, що внаслідок застосування новітніх матеріалів ведучих поясків існує можливість зменшення сили

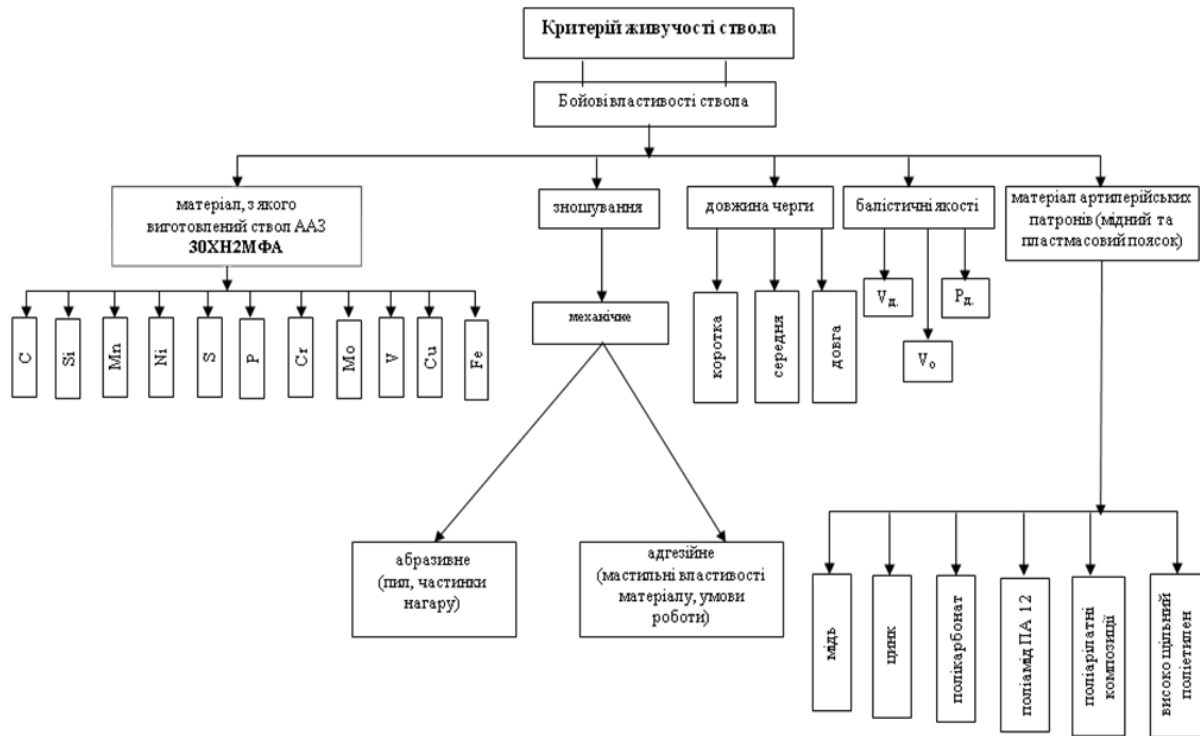


Рис. 1. Ієрархічна структура взаємодії системи «ствол-снаряд»

Таблиця 1

Коефіцієнт тертя для пари матеріалів

Матеріал ствола	Матеріал ведучого пояска снаряду в парі тертя			
	Значення коефіцієнту тертя пари			
	«Сталь-сталь»	«Сталь-бронза»	«Сталь-мідь»	«Сталь-полікарбонати»
Марка сталі: 30ХН2МФА з хромуванням ствола	0,133	0,176	0,15	0,06

тертя в каналі ствола та його температурного навантаження.

Ураховуючи, що сьогодні відбувається експлуатація патронів з продовженими ресурсними показниками, оцінювання живучості ствола ААЗ проведемо за методикою [2, с. 114] для авіаційної гармати калібру 30 мм з відповідними конструктивними параметрами зброї та патрона.

Зважаючи, що тривале зберігання авіаційних патронів в умовах авіаційних баз і складів призводить до відхилення важливої балістичної характеристики – початкової швидкості V_0 снаряду, для врахування в критерії живучості ствола балістичних змін снаряду запропоновано рівняння (5) у вигляді полінома другого ступеня, у якого коефіцієнт кореляції величин становить 0,94 (див. рис. 2).

Характер розсіювання початкової швидкості снарядів залежно від відхилення маси патронів із продовженими ресурсними показниками має вигляд:

$$V_0 = -0,842m^2 + 1\,400,985m - 581\,942,329, \quad (5)$$

де V_0 – початкова швидкість снаряду; m – маса патрона за тривалого зберігання.

За обраною методикою оцінювання живучості ствола ААЗ [2] та з урахуванням залежності (5) у разі тривалого зберігання патронів проведено розрахунок живучості ствола. Результати розрахунків живучості ствола ААЗ з урахуванням вибору матеріалів ведучих поясків снаряду (коефіцієнтів тертя пар) представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати обчислення живучості ствола гармати

Характеристика	Матеріал ведучого пояска			
	Сталь	Бронза	Мідь	Полікарбонат
Живучість ствола N_p	685	754	891	2153

Аналіз результатів у таблиці 2 свідчить, що внаслідок застосування новітніх матеріалів ведучих поясків існує можливість підвищення живучості ствола у 2,5 раза.

Авторами в результаті дослідження впливу матеріалів конструкції ведучих поясків снарядів на живучість ствола пропонується використання полімерних матеріалів і їх похідних у конструкції снарядів патронів причому з подальшою інтеграцією елемента в єдиний корпус снаряду для збільшення ефективності функціонування ведучих поясків.

Математичні моделі конструкції снаряду авіаційного патрона описуються системою рівнянь [8, с. 107] і доповнені рівняннями, що описують змінену конструкцію снаряда, які реалізовані в програмному пакеті MathCad у вигляді ескізів снарядів. У результаті математичного моделювання отримані ескізні варіанти можливих удосконалених конструкцій снарядів з використанням новітніх матеріалів, що представлені на рис. 3, 4.

На рис. 4а представлено варіант ескізу снаряду з двома полікарбонатними ведучими поясками. Варіант ескізу снаряда рис. 4б підвищує характеристики центрування снаряду під час його руху по каналу ствола.

З аналізу ескізів снарядів БТ-30 випливає, що процес керування механічного зношування ствола залежить від вибору матеріалів фрикційної пари «метал-неметал» шляхом варіювання хімічних структур матеріалів ведучих поясків снаряду, а також вибору перспективного матеріалу ствола.

Результати моделювання ескізів снаряду БТ-30 щодо вибору матеріалу елементів конструкції снаряду доцільно враховувати під час проектування перспективних ГТХ снарядів шляхом удосконалення конструкції авіаційних снарядів для зменшення температури нагрівання ствола.

Отже, представлено підхід підвищення живучості ствола ААЗ за рахунок варіювання

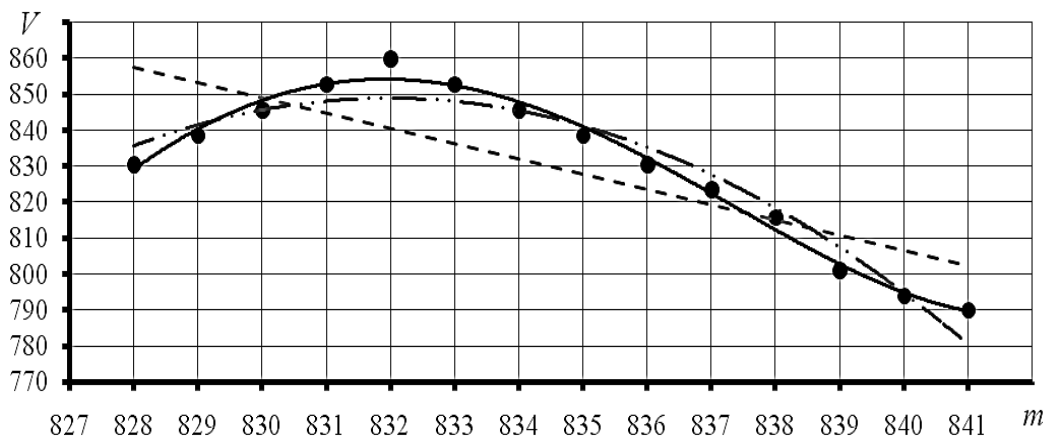


Рис. 2. Відхилення V_0 від зміни маси патронів під час тривалого зберігання:
 - - - лінійна апроксимація; - . - апроксимація поліномом другого ступеня;
 — — апроксимація поліномом четвертого ступеня

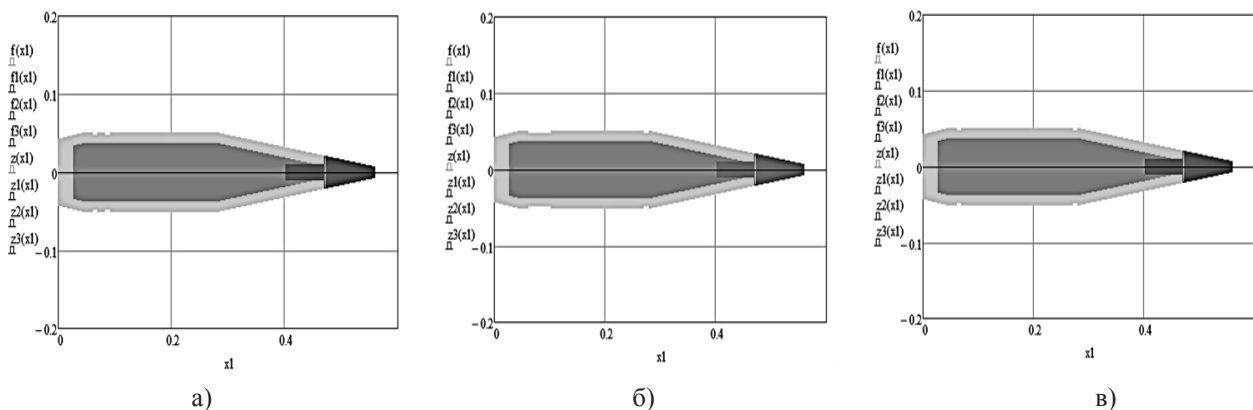


Рис. 3. Моделювання ескізів снарядів БТ-30 із різною конфігурацією форми корпусу снарядів під ведучий поясик: а) дві виїмки у хвостовій частині снаряду; б) дві виїмки, одна розширена у хвостовій та одна – в оживальній частинах снаряду; в) дві звичайні виїмки, по одній у хвостовій та оживальній частинах снаряду

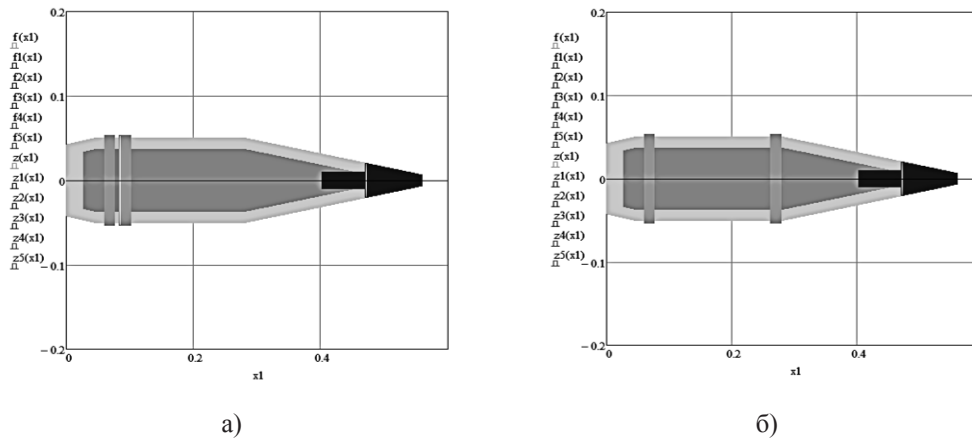


Рис. 4. Моделювання ескізів снарядів БТ-30: а) з двома ведучими поясками у хвостовій частині снаряду; б) з двома ведучими поясками, по одному в оживальній і хвостовій частинах снаряду

хімічних структур матеріалів ведучих поясків снаряду, який дає змогу зменшити температурні напруги у стволі та збільшити інтервал часу механічного зношування ствола.

Вирішення задачі температурного балансу ствола під час використання фрикційної пари «метал-неметал» і «холодного» піроксилінового пороху дасть змогу в сукупності підвищити щільність заряджання пороху і, як наслідок, початкову швидкість снаряду та глибину пробиття перешкоди для бронебійних снарядів.

Висновки. Визначено один із альтернативних напрямів удосконалення елемента конструкції

авіаційного снаряду, який забезпечить зменшення механічного зношування авіаційного артилерійського ствола з урахуванням форми конструкції та матеріалу ведучого пояска.

Запропоновано метод параметричного моделювання тактико-технічних характеристик ААЗ у системі «ствол-снаряд». Порівняльний аналіз живучості ствола показав, що під час використання новітніх технологій у виробництві авіаційних боєприпасів можливе підвищення живучості ствола у 2,5 рази щодо використання мідного ведучого пояска протягом заданого часу експлуатації ствола.

Список літератури:

1. Березанський В.Г. Методика визначення прицільних поправок стрільби з урахуванням зміни маси авіаційних артилерійських патронів під час їхнього тривалого зберігання в умовах авіаційних бригад. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. Київ, 2020. № 1. Том 31 (70). Частина 1. С. 6–13.
2. Аніпко О.Б., Баулін Д.С., Муленко О.О. Проблема живучості стрілецької зброї при використанні боєприпасів післягарантійних строків зберігання. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2010. Вип. 2 (16). С. 11–13.
3. Бірюков І.Ю., Баулін Д.С. Експлуатаційні характеристики стрілецького озброєння при використанні боєприпасів довготривалого зберігання. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2008. Вип. 2. С. 113–117.
4. Писаренко В.Г. Аналіз проблем зношування стволів стрілецької зброї. *Проблеми трибології*. В. : КНВО «Форт» МВС України, 2012. Вип. 2. С. 84–90.
5. Радченко А.К., Орел А.Г., Радченко Л.А. Коэффициент сухого трения. *Современные проблемы физического материаловедения*. Киев : ИПМ НАН Украины, 2012. Вип. 21. С. 211–223.
6. Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень / А.В. Грабовський, А.Ю. Васильєв, М.М. Ткачук, А.Ю. Танченко, О.В. Мартиненко, Д.В. Киричук, С.В. Борисенко, О.І. Касай. Харків : Вісник НТУ «ХПІ», 2016. Вип. 18 (1190). С. 22–29.
7. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / под ред. А.В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 2001. 664 с.
8. Гончаренко П.Д., Котасонов Ю.І., Хайков В.Л. Моделювання процесів вражаючої дії артилерійських боєприпасів з використанням комп'ютерного обчислювального експерименту : навчальний посібник. Севастополь : Академія ВМС ім. П.С. Нахімова, 2012. 216 с.

Berezanskyi V.G., Berezanskyi O.G., Baranik O.M., Konstantinov A.O., Svintsitskyi V.V.
APPROACH TO MODELING CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF AVIATION
AMMUNITION SHEARS USING THE GENERALIZED PARAMETRIC METHOD

The article acquaints with research of directions of perfection of elements of a design of shells of aviation artillery cartridges. Ways to reduce the wear of the inner part of the barrel of the aircraft artillery barrel in the “barrel-projectile” system have been identified. The method of the generalized parametric modeling for the decision of a problem of mechanical wear of a trunk channel and maintenance of operational characteristic of a trunk – survivability is offered.

For the existing system of aviation artillery weapons, one of the areas of their improvement is the use of the latest material technologies in the design of aviation artillery cartridges.

As a result of the analysis, the barrel channel of the air artillery was installed, it is established that the method of generalized parametric modeling of tactical and technical characteristics of the barrel allows to identify trends in increasing the survivability of the barrel of aircraft artillery when using critical technologies in aircraft production. This approach allows to take into account the parameters and characteristics of elements and systems that change during the operation and combat use of samples, and to form areas for improvement of aviation artillery weapons.

The assessment of the survivability of the barrel of the air artillery system was carried out for the construction of the shell and the materials of the lead belts. Analysis of the positive results, but in the minds of new and new materials of lead belts (polymers) in the construction of shells, there is a possibility of improved barrel life 2.5 times more artificially. One of the alternate strands is indicated for the more convenient construction of an avia projectile, and the element of the leading belt for the projectile is designed to provide for the reduction of mechanical artifact of the artillery barrel in the form of construction.

Key words: *projectile, cartridge, guide belt, survivability, barrel, wear, coefficient of friction.*