

Методика розрахунку ефективного значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї

Methodology for Calculating the Effective Value of the Recoil Force of Automatic Firearms

Олександр Біленко

доктор технічних наук, професор, професор кафедри управління логістикою навчально-наукового інституту підготовки керівних кадрів, e-mail: baif69@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6007-3330>

Сергій Шабатура

Ад'юнкт докторантури та ад'юнктури, e-mail: sergejsabatura@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1107-2088>

Oleksandr Bilenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Logistics Management, Educational and Scientific Institute for Leadership Training, e-mail: baif69@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6007-3330>

Serhii Shabatura

Postgraduate Doctoral Candidate of the Doctoral and Adjunct Programs, e-mail: sergejsabatura@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1107-2088>

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків, Україна

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Received: February 08, 2026 | Revised: February 24, 2026 | Accepted: February 28, 2026

UDC 623.44

DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2026.16.1.22>

Мета роботи. Розроблення методики розрахунку ефективного значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї для об'єктивного оцінювання її впливу на ефективність стрільби, параметри руху та стійкість бойових платформ.

Метод дослідження. Аналітичний підхід із використанням положень внутрішньої балістики, математичного опису імпульсних навантажень, системного аналізу та алгоритмічного моделювання.

Результати дослідження. Розроблено методику визначення ефективного значення сили віддачі, встановлено залежність цього показника від калібру, темпу стрільби, тривалості пострілу, максимального тиску порохових газів і коефіцієнта використання робочого об'єму каналу ствола.

Практична цінність дослідження. Методика може застосовуватися для обґрунтування вибору зразків автоматичної зброї для бойових платформ із заданими масо-габаритними характеристиками та під час проектування і модернізації озброєння.

Тип статті. Науково-прикладна (методична) стаття.

Purpose. To develop a methodology for calculating the effective value of the recoil force of automatic small arms in order to objectively assess its impact on firing efficiency, motion parameters, and stability of combat platforms.

Method. An analytical approach based on the principles of internal ballistics, mathematical description of impulse loads, systems analysis, and algorithmic modeling.

Findings. A methodology for determining the effective value of recoil force has been developed. The dependence of this indicator on caliber, rate of fire, shot duration, maximum powder gas pressure, and the coefficient of utilization of the barrel working volume has been established.

Practical value of the study. The proposed methodology can be applied to justify the selection of automatic weapon systems for combat platforms with specified mass and dimensional characteristics, as well as in the design and modernization of weapon systems.

Paper type. Scientific and applied (methodological) article.

Ключові слова: віддача зброї, ефективне значення сили віддачі, тиск порохових газів, внутрішня балістика, автоматична зброя.

Key words: Weapon Recoil, Effective Recoil Force Value, Powder Gas Pressure, Internal Ballistics, Automatic Weapons.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку озброєння та військової техніки характеризуються зростанням вимог до мобільності, точності та інтеграції вогневих засобів із різноманітними бойовими платформами — від броньованих машин до безпілотних наземних і повітряних систем. За таких умов питання оцінювання впливу віддачі автоматичної стрілецької зброї набуває не лише балістичного, а й системного інженерного значення. Віддача визначає динамічну взаємодію у системі “зброя – платформа”, впливає на точність стрільби, стійкість руху, вібраційні навантаження та безпеку експлуатації.

У науковій літературі процес віддачі традиційно розглядається через категорії імпульсу, енергії або швидкості руху елементів зброї. Такий підхід є виправданим для задач конструювання автоматики, однак він не повною мірою задовольняє потреби оцінювання стійкості платформ-носіїв, для яких визначальною є саме сила як параметр навантаження. Водночас сила віддачі має змінний у часі характер, що ускладнює її безпосереднє використання в інженерних розрахунках.

Проблемна ситуація полягає у наявності суперечності між практичною потребою мати кількісно визначене значення сили віддачі для розрахунку динаміки та стійкості бойових систем і відсутністю універсальної методики її визначення для автоматичної стрілецької зброї. Особливої актуальності це набуває при інтеграції озброєння на відносно легкі платформи, де навіть незначні зміни динамічних параметрів можуть призвести до втрати стійкості або зниження точності вогню.

З огляду на зазначене доцільним є використання поняття ефективного (діючого) значення сили віддачі, яке дозволяє замінити змінну в часі силу еквівалентною за енергетичною дією сталою величиною протягом заданого інтервалу. Такий підхід забезпечує спрощення розрахункових процедур без істотної втрати інформативності для задач оцінювання руху та стійкості бойових платформ.

Метою статті є розроблення методики розрахунку ефективного значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї на основі положень внутрішньої балістики та математичного опису імпульсних навантажень. Реалізація поставленої мети спрямована на підвищення обґрунтованості інженерних рішень у процесі проектування та вибору озброєння для сучасних бойових систем.

Огляд літератури

Проблематика віддачі вогнепальної зброї традиційно розглядається в межах внутрішньої балістики та динаміки автоматичних систем. У фундаментальних працях з внутрішньої балістики детально описано закон зміни тиску порохових газів у каналі ствола, процес розгону снаряда та формування імпульсу пострілу [10; 11]. У цих роботах віддача переважно характеризується через імпульс або енергію, що є інтегральними показниками дії газового тиску, однак без переходу до визначення змінної у часі сили.

У навчально-методичних виданнях з проектування озброєння розглядається вплив пострілу на носії зброї — артилерійські установки, транспортні засоби та повітряні платформи [4]. Показано, що сили, які діють на корпус зброї, можуть досягати значних величин і спричиняти деформації та вібрації. Водночас сила віддачі в таких роботах приймається як відома величина без подання методики її визначення.

У дослідженнях біомеханічного характеру аналізується система “стрілець – зброя” з урахуванням коливальних процесів і м’язових зусиль [6; 7]. У цих роботах для опису віддачі використовується імпульс або кінематичні характеристики руху, що дозволяє оцінювати вплив пострілу на точність стрільби, проте не формує підґрунтя для визначення узагальненого силового параметра.

Окремий напрям пов’язаний із розробленням фізико-математичних моделей автоматичної зброї з короткою віддачею, які дозволяють моделювати рух затворної групи та оцінювати швидкість віддачі окремих елементів [8]. Такі моделі є важливими для аналізу циклу автоматики, однак не орієнтовані на визначення ефективного значення сили віддачі як параметра навантаження на платформу.

У роботах, присвячених оцінюванню впливу вогневих засобів на транспортні бази, запропоновано аналітичні моделі збуреного впливу [9]. Проте в окремих випадках під «силою» фактично розуміється кінетична енергія пострілу, що створює термінологічну невизначеність і ускладнює застосування результатів у задачах розрахунку стійкості.

Дослідження, спрямовані на зниження енергії віддачі та підвищення ефективності стрільби, підтверджують значний вплив параметрів пострілу на експлуатаційні характеристики систем озброєння [2; 3; 12]. Разом із тим у зазначених роботах основна увага приділяється енергетичним або імпульсним характеристикам, а не безпосередньо силі віддачі.

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить, що хоча імпульсні, енергетичні та кінематичні аспекти віддачі досліджені достатньо повно [4; 6–12], відсутня уніфікована

методика визначення ефективного значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї як параметра, придатного для інженерних розрахунків руху та стійкості бойових платформ. Це обумовлює необхідність розроблення відповідного методичного підходу.

Постановка проблеми

Під час пострілу з вогнепальної зброї виникає явище віддачі, зумовлене дією неврівноваженої частини сили тиску порохових газів на дно каналу ствола [1]. Віддача впливає як на ефективність стрільби [2; 3], так і на параметри руху та стійкість бойових платформ, на яких встановлено зброю [4; 5]. За умов інтеграції автоматичної стрілецької зброї на легкі мобільні системи (безпілотні наземні комплекси, роботизовані платформи, легкоброньовану техніку) значення цього впливу істотно зростає.

У більшості наукових досліджень процес віддачі характеризується через імпульс, енергію або кінематичні параметри руху елементів зброї [6–8; 12]. Такий підхід є обґрунтованим для аналізу роботи автоматики та оцінювання точності стрільби, однак він не забезпечує безпосереднього визначення сили віддачі як функції часу. Водночас окремі методики розрахунку стійкості техніки передбачають використання саме силових параметрів навантаження [5].

Складність полягає в тому, що сила віддачі автоматичної зброї не є сталою величиною, а змінюється відповідно до закону зміни тиску порохових газів у заснарядному просторі, який визначається процесами внутрішньої балістики [10; 11]. У проміжках між пострілами сила віддачі дорівнює нулю, що ускладнює її безпосереднє застосування в інженерних розрахунках динаміки та стійкості системи “зброя – платформа”.

Таким чином, виникає суперечність між практичною потребою мати кількісно визначене значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї для розрахунку стійкості та динамічних характеристик бойових платформ [5] та відсутністю уніфікованої методики її визначення в існуючих дослідженнях [6–8; 10–12]. Розв’язання зазначеної проблеми потребує переходу від аналізу миттєвої змінної сили до визначення її ефективного значення, придатного для використання у прикладних інженерних розрахунках.

Методологія

Методологія дослідження ґрунтується на положеннях внутрішньої балістики щодо закону зміни тиску порохових газів у заснарядному просторі [10; 11] та на використанні аналітичних співвідношень, що описують імпульсні навантаження в системі “зброя – платформа”.

У роботі застосовано аналітичні методи визначення середнього та ефективного значення сили віддачі, елементи системного підходу для оцінювання взаємодії зброї з бойовою платформою, а також алгоритмічне моделювання для розрахунку параметрів при різних технічних характеристиках зразків озброєння.

Розрахункові процедури базуються на інтегруванні закону зміни тиску в часі з урахуванням тривалості пострілу та інтервалів між пострілами, що дозволяє перейти від змінної сили до її ефективного значення, придатного для інженерних розрахунків.

Результати

Для розрахунку ЕЗСВ F_{ef} достатньо визначити середній тиск порохових газів $P_{сер}$ у заснарядному просторі протягом черги пострілів та площу S , на яку цей тиск діє (1):

$$F_{ef} = P_{сер} \cdot S. \quad (1)$$

Для визначення $P_{сер}$ достатньо знати закон зміни тиску порохових газів у заснарядному просторі від часу $P(t)$, час процесу пострілу t_0 та час проміжків між окремими пострілами у черзі t_n . За наявності таких даних шукана величина розраховується за формулою (2):

$$P_{\text{сеп}} = \frac{\int_0^{t_d} P(t) dt}{t_d + t_n} \quad (2)$$

Визначення закону зміни тиску порохових газів у заснарядному просторі від часу є частковим завданням розв'язання прямої задачі внутрішньої балістики і може бути здійснене відповідно до [10; 11].

На рис. 1 наведено криві змінювання тиску порохових газів у заснарядному просторі від часу для деяких зразків автоматичної зброї, що встановлюються на різноманітних зразках озброєння і військової техніки, а саме: 7,62-мм кулемета Калашникова ПКТ, 12,7-мм великокаліберного кулемета НСВТ, 14,5-мм великокаліберного кулемета КПВТ, 23-мм автоматичної гармати 2А14 та 30-мм автоматичної гармати 2А42. Залежності $P(t)$ отримані способом, що описаний в роботі [11].

На рис. 2 наведено розрахункові ефективні значення сили віддачі для 7,62-мм кулемета Калашникова ПКТ, 12,7-мм великокаліберного кулемета НСВТ, 14,5-мм великокаліберного кулемета КПВТ, 23-мм автоматичної гармати 2А14 та 30-мм автоматичної гармати 2А42, що отримані за допомогою формули (2).

При цьому час проміжків між окремими пострілами у черзі t_n розраховано за формулою (3):

$$t_n = \frac{60}{N} - t_d, \quad (3)$$

де N – технічна скорострільність (темп стрільби) зброї, постр./хв.

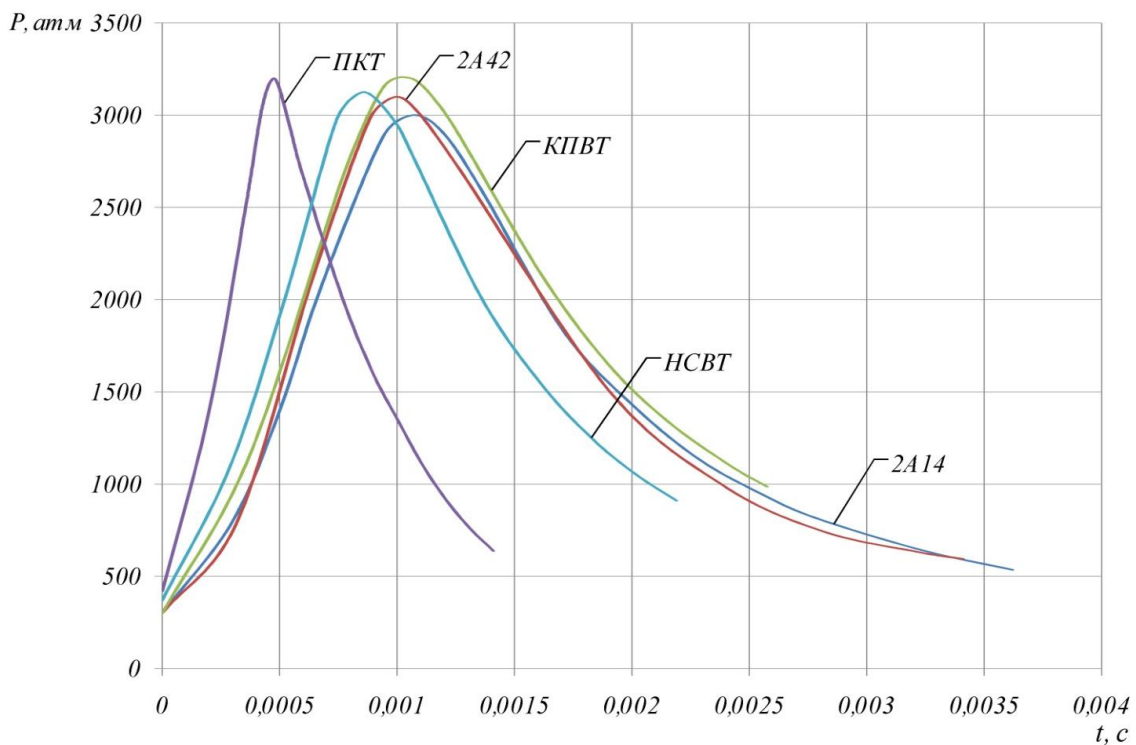


Рисунок 1: Залежності тиску порохових газів у заснарядному просторі від часу для деяких зразків автоматичної зброї

Джерело: розроблено автором

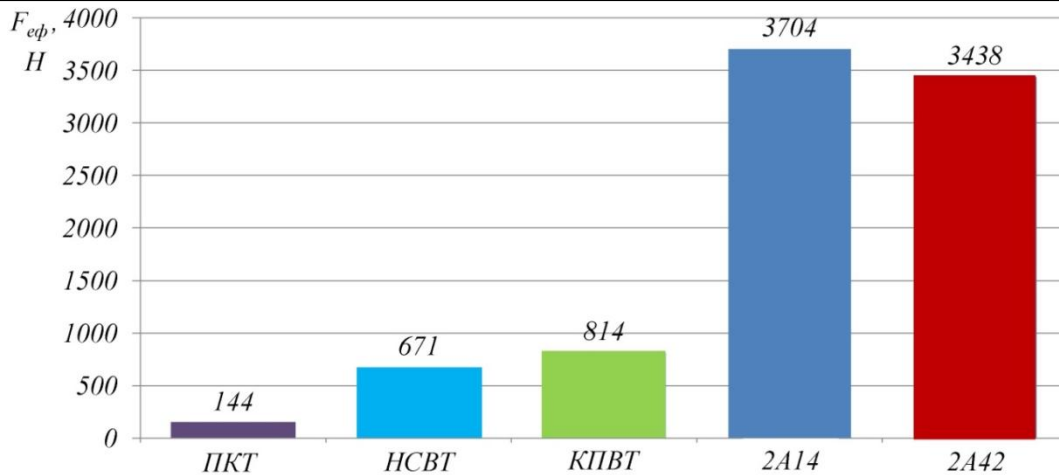


Рисунок 2: Розрахункове ефективне значення сили віддачі для деяких зразків автоматичної зброї

Джерело: розроблено автором

Темп стрільби для наведених вище зразків автоматичної зброї не є постійним та залежить від низки чинників: типу боєприпасів; температури навколишнього середовища, яка впливає на температуру заряду та властивості мастил; ступеня забруднення механізмів зброї; положення газового регулятора тощо. Тому під час розрахунків взято значення, які відповідають максимальному темпу стрільби з кожного зразка зброї, а саме: ПКТ та НСВТ – 800 постр./хв., КПВТ – 600 постр./хв., 2А14 – 1000 постр./хв., 2А42 – 550 постр./хв.

З рис. 2 видно, що ефективне значення сили віддачі залежить від калібру зброї і, як правило зброя з більшим калібром має більшу силу віддачі. Але є виняток: ефективне значення сили віддачі автоматичної гармати 2А42 виявилась нижчим, ніж у автоматичної гармати 2А14, яка має менший калібр. Це пояснюється порівняно невисоким темпом стрільби автоматичної гармати 2А42 (550 постр./хв.) проти 1000 постр./хв. для 2А14. Отже, темп стрільби є суттєвим чинником, від якого залежить ефективне значення сили віддачі зброї.

Звідси витікає, що іншим суттєвим чинником, який впливає на ефективне значення сили віддачі є час, протягом якого відбувається процес пострілу. Чим більшим є вказаний час, тим меншим є час проміжків між окремими пострілами у черзі t_n (слідuje з виразу (3)), під час якого дія тиску порохових газів на дно гільзи відсутня.

Час пострілу за інших рівних умов залежить від довжини ствола зброї: чим довшим є ствол, тим більший час необхідний для подолання його снарядом (кулею). Тому для зразків зброї з аналогічними внутрібалістичними параметрами більшою буде ефективне значення сили віддачі для зразка з довшим стволом. Наприклад, ЕЗСВ буде більшим для ПКТ у порівнянні з ПК чи ПКМ (довжина ствола 655 мм та 550 мм відповідно), у НСВТ ніж у ДШК (1000 мм проти 890 мм) тощо.

Дуже важливим чинником є максимальний тиск порохових газів P_m : чим він вище, тим більшим (за рівних інших умов) є значення числівника у формулі (2) та, відповідно, ЕЗСВ. Але для сучасних зразків зброї значення P_m визначається межею міцності ствольних сталей і є приблизно однаковим (рис. 1). У такому випадку набуває важливості коефіцієнт використання робочого об'єму каналу ствола (коефіцієнт заповнення площі індикаторної діаграми) η_∂ , який обчислюється за формулою 4 [10]:

$$\eta_\partial = \frac{P_{сн}}{P_m} = \frac{\phi m V_\partial^2}{2 S l_\partial P_m} = \frac{\phi m V_\partial^2}{2 W_\partial P_m}, \quad (4)$$

- де $P_{сп}$ – середнє значення тиску порохових газів у заснарядному просторі протягом пострілу;
 P_m – максимальнє значення тиску порохових газів у заснарядному просторі протягом пострілу;
 φ – коефіцієнт фіктивності;
 m – маса снаряду (кулі);
 V_∂ – дульна швидкість снаряду (кулі);
 S – площа перетину каналу ствола;
 l_∂ – довжина нарізної частини каналу ствола;
 W_∂ – об'єм нарізної частини каналу ствола.

Чим вищим є значення η_∂ , тим більшим буде і ЕЗСВ.

На рис. 3 наведено залежності тиску порохових газів у заснарядному просторі від відносного часу t/t_∂ для деяких зразків автоматичної зброї. У такому поданні кривих добре видно, що при близьких значеннях максимального тиску порохових газів площі під кривими є суттєво різними, що відповідає різним значенням η_∂ . Так, для ПКТ та 2А42 $\eta_\partial = 0,47$; для 2А14 $\eta_\partial = 0,48$; для НСВТ $\eta_\partial = 0,53$ та найбільше значення $\eta_\partial = 0,59$ відповідає КПВТ.

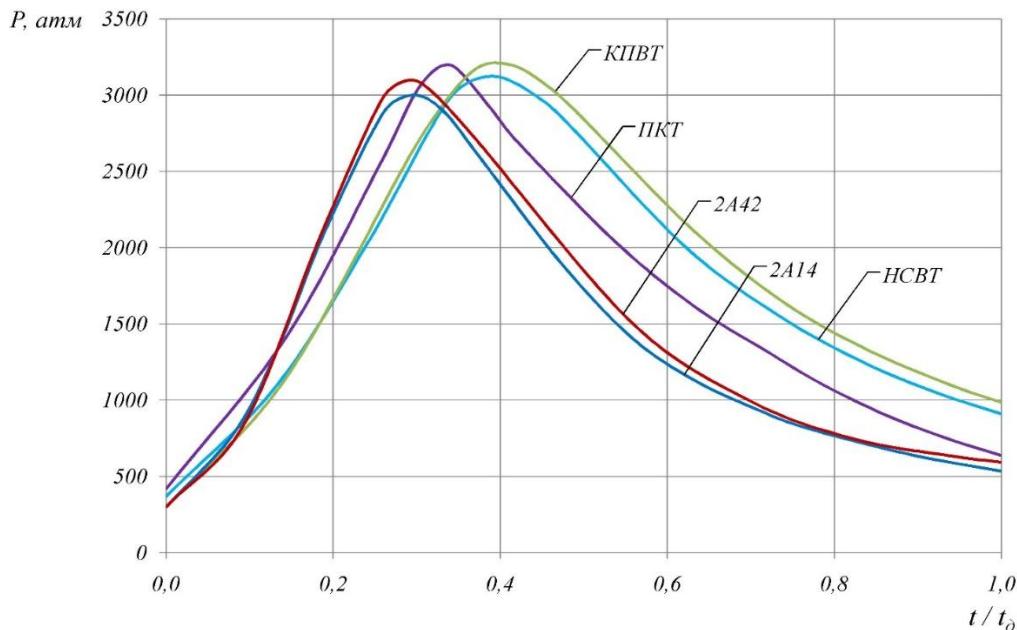


Рисунок 3: Залежності тиску порохових газів у заснарядному просторі від відносного часу для деяких зразків автоматичної зброї

Джерело: розроблено автором

Однак, слід враховувати значення η_∂ у комплексі зі значенням P_m . Наприклад, коефіцієнт використання робочого об'єму каналу ствола у 2А14 є вищим, ніж для у 2А42, але через більші значення максимального тиску та часу пострілу інтегральна площа під кривою тиску є більшою у 2А42.

Таким чином, ефективне значення сили віддачі є складною функцією багатьох величин, основними з яких є час перебігу процесу пострілу t_∂ , час проміжків між окремими пострілами у черзі t_n (який залежить від темпу стрільби), максимальний тиск порохових газів P_m та коефіцієнт використання робочого об'єму каналу ствола η_∂ (який залежить від низки чинників, що визначають закон газоутворення), а також калібр ствола. Наведена інформація може бути корисною під час попереднього аналізу зразків автоматичної зброї на етапах їх проектування

або під час вибору для використання в комплексі з певними зразками військової техніки. Вказане вище завдання можна розв'язати в інший, більш простий, спосіб, що ґрунтується на відомих співвідношеннях внутрішньої балістики (10, 12). При цьому слід спочатку визначити середнє значення тиску порохових газів у заснарядному просторі протягом одного пострілу P_{cp} за формулою (5):

$$\text{I.} \\ P_{cp} = \frac{\phi m V_{\delta}^2}{2Sl_{\delta}}, \quad (5)$$

а потім розрахувати $P_{сер}$ за формулою (6):

$$\text{II.} \\ P_{сер} = \frac{P_{cp}}{t_{\delta} + t_n}. \quad (6)$$

З метою ілюстрації запропонованого способу проведені розрахунки значень P_{cp} та $P_{сер}$ за даними, що наведені в табл. 1. Результати розрахунків наведені на рис. 4 та 5 відповідно.

Таблиця 1: Вихідні дані для розрахунків середнього значення тиску порохових газів у заснарядному просторі протягом одного пострілу для зразків автоматичної зброї, що розглядаються

Зброя	ϕ	m , кг	V_{δ} , м/с	d , мм	S , см ²	l_{δ} , м
ПКТ	1,211	0,0096	855	7,62	0,459	0,55
НСВТ	1,216	0,048	845	12,7	1,274	1,00
КПВТ	1,240	0,064	976	14,5	1,661	1,22
2А14	1,226	0,19	980	23	4,179	1,88
2А42	1,176	0,41	970	30	7,110	2,25

Джерело: складено автором за даними формулярів зброї

З рисунків 4 та 5 видно, що за середнім тиском порохових газів у заснарядному просторі підчас пострілу досліджувані зразки зброї розподіляються таким чином (від найменшого до найбільшого): 2А42, 2А14, НСВТ, ПКТ, КПВТ.

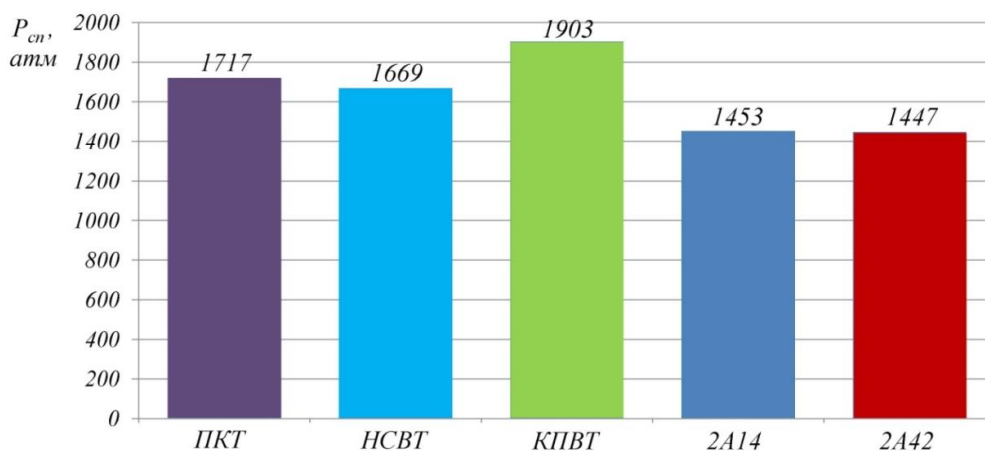


Рисунок 4: Значення середнього тиску порохових газів у заснарядному просторі підчас пострілу

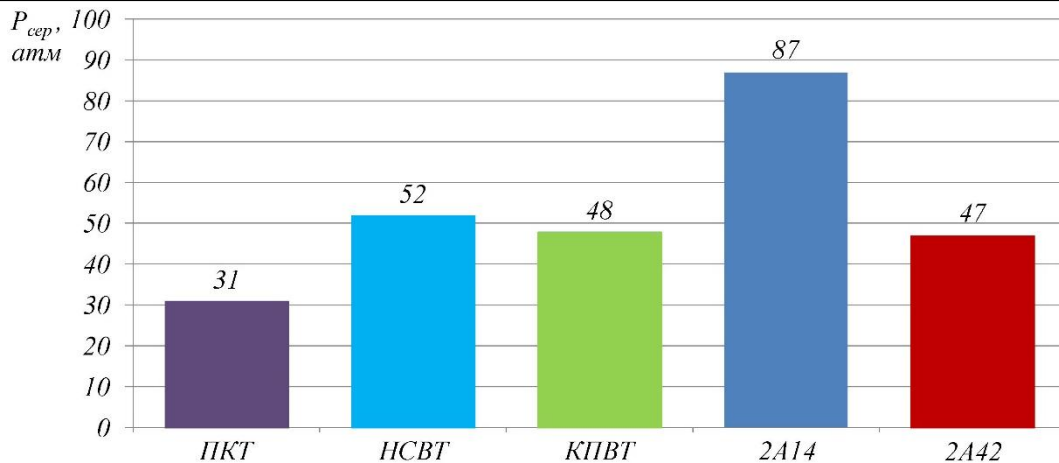


Рисунок 5: Значення середнього тиску порохових газів у заснарядному просторі для черги пострілів

За середнім тиском порохових газів у заснарядному просторі для черги пострілів картина суттєво інша: ПКТ, 2А42, КПВТ, НСВТ, 2А14. При цьому, за ефективним значенням сили віддачі зазначені зразки зброї розподіляються так: ПКТ, НСВТ, КПВТ, 2А42, 2А14, що лише підтверджує наведені вище міркування стосовно впливу різноманітних чинників на ЕЗСВ.

На основі отриманих значень $P_{сep}$ (рис. 5) за формулою (1) розраховуються шукані значення F_{ef} , які практично збігаються з тими, що наведені на рис. 2.

Таким чином, розроблено методику визначення ефективного значення сили віддачі автоматичної зброї, блок схема алгоритму якої наведено на рис. 6.

Вказана методика може використовуватися під час оцінювання впливу віддачі автоматичної зброї на ефективність стрільби, параметри руху та стійкість бойової техніки, на якій встановлено зброю, а також для вибору зразків зброї, які є прийнятними для бойової техніки із заданими масо-габаритними параметрами.

Обговорення

Отримані результати підтверджують, що ефективне значення сили віддачі не може визначатися лише калібром зброї або максимальним тиском порохових газів. Як показали розрахунки, цей показник є функцією сукупності параметрів, серед яких визначальними є тривалість пострілу, темп стрільби, максимальний тиск порохових газів та коефіцієнт використання робочого об'єму каналу ствола.

Порівняння розрахованих значень свідчить, що зразки більшого калібру, як правило, мають більше ефективне значення сили віддачі, однак ця закономірність не є абсолютною. Зокрема, встановлено, що автоматична гармата 2А42 має менше ефективне значення сили віддачі, ніж 2А14, попри більший калібр. Це пояснюється нижчим темпом стрільби, що збільшує інтервали між пострілами і зменшує середній тиск порохових газів у черзі.

Результати також показують, що при близьких значеннях максимального тиску суттєву роль відіграє коефіцієнт використання робочого об'єму каналу ствола, який відображає характер протікання процесу газотворення. Відмінності у площі під кривими зміни тиску зумовлюють різні значення середнього тиску, а отже і різні значення ефективної сили віддачі.

Отримані залежності узгоджуються з положеннями внутрішньої балістики [10; 11] та підтверджують доцільність використання середнього значення тиску порохових газів у заснарядному просторі як основи для розрахунку ефективної сили віддачі. При цьому показано, що альтернативний спосіб визначення через середній тиск за постріл та за чергу пострілів приводить до результатів, які практично збігаються з розрахунками за інтегральною формулою.



Рисунок 6: Блок-схема алгоритму визначення ефективного значення сили віддачі автоматичної зброї

Разом із тим застосування ефективного значення сили віддачі має обмеження. Воно є придатним для задач оцінювання впливу віддачі на рух і стійкість бойових платформ, але не може використовуватися для розрахунків міцності окремих елементів конструкції, де необхідно враховувати миттєві максимальні навантаження.

Таким чином, запропонована методика забезпечує інженерно обґрунтований перехід від змінної сили віддачі до її узагальненого ефективного значення та може бути використана для попереднього аналізу зразків автоматичної зброї при їх виборі або інтеграції з бойовими платформами.

Висновки

1. Розроблено методику розрахунку ефективного значення сили віддачі автоматичної стрілецької зброї, яка ґрунтується на визначенні середнього тиску порохових газів у заснарядному просторі протягом пострілу та черги пострілів.

2. Встановлено, що ефективне значення сили віддачі є складною функцією часу перебування процесу пострілу, темпу стрільби, максимального тиску порохових газів, коефіцієнта використання робочого об'єму каналу ствола та калібру зброї.

3. Показано, що темп стрільби істотно впливає на величину ефективної сили віддачі, оскільки визначає тривалість інтервалів між пострілами у черзі та, відповідно, середній тиск порохових газів.

4. Підтверджено, що застосування ефективного значення сили віддачі є доцільним для задач оцінювання впливу віддачі на параметри руху та стійкість бойових платформ, але не може використовуватися для розрахунків міцності конструктивних елементів.

5. Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення умов стійкості самохідних платформ до перекидання на поверхнях із бічним ухилом під час ведення вогню.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Словник української мови : в 11 т. / АН УРСР, Ін-т мовознавства ; за ред. І. К. Білодіда. Київ : Наук. думка, 1970–1980. Т. 1. 578 с. URL: http://ukrlit.org/slovnky/slovnky_ukrainskoi_movy_v_11_tomakh (дата звернення: 22.10.2025).
2. Біленко О. І., Павлов Д. В., Першина К. В. Шляхи зниження енергії віддачі стрілецької зброї для сил безпеки. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2017. № 2 (30). С. 9–14. URL: <https://znp.nangu.edu.ua/article/view/124649> (дата звернення: 22.10.2025).
3. Біленко О. І., Белашов Ю. О. Підвищення оперативності виконання снайперських вогневих завдань силами безпеки шляхом зменшення кута вильоту кулі. Системи озброєння і військова техніка. 2015. № 3 (43). С. 16–21. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=soivt_2015_3_6 (дата звернення: 29.10.2025).
4. Поляков А. П., Зарубін О. М., Березанський О. Г., Березанський В. Г., Баранік О. М. Авіаційна артилерійська зброя : електрон. навч. посіб. комбін. (локал. та мереж.) використання. 2-ге вид. Вінниця : ВНТУ ; Харків : ХНУПС, 2022. 358 с. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/5584.pdf> (дата звернення: 29.10.2025).
5. Біленко О. І., Шабатура С. О. Умова стійкості автомобіля до перекидання на поверхні з бічним ухилом під час ведення вогню зі зброї. Честь і закон. 2024. № 4 (91). С. 22–27. URL: <https://chiz.nangu.edu.ua/article/download/324061/314165/751400> (дата звернення: 29.10.2025).
6. Biomechanical analysis of the shooter-weapon system oscillation. URL: https://www.researchgate.net/publication/318665997_Biomechanical_analysis_of_the_shooter-weapon_system_oscillation (дата звернення: 04.11.2025).
7. Костішин Б. О. Модель ефекту віддачі зброї при виконанні пострілу в спортивній стрільбі. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 2/4 (56). С. 30–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-efektu-viddachi-zbroyi-pri-vikonanni-postrilu-v-sportivniy-strilbi> (дата звернення: 04.11.2025).
8. Preliminary physical and mathematical model of the recoil operated firearm within the bolt recoil period. URL: https://www.researchgate.net/publication/350525387_Preliminary_Physical_and_Mathematical_Model_of_the_Recoil_Operated_Firearm_within_the_Bolt_Recoil_Period (дата звернення: 04.11.2025).
9. Кузавков В. В., Мацаєнко А. М., Поляк І. Є. Модель оцінки впливу вогневого засобу на підресорну частину транспортної бази. Military Affairs and National Security. 2023. № 183. С.

600–610.

URL:

https://www.researchgate.net/publication/377024267_Model_ocinki_vplivu_vogneвого_zasobu_na_pidresornu_castinu_transportnoi_bazi (дата звернення: 10.11.2025).

10. Біленко О. І. Внутрішня та зовнішня балістика. Ч. I : Внутрішня балістика : навч. посіб. Харків : Військовий інститут внутрішніх військ МВС України, 2005. 99 с. URL: <https://www.scribd.com/document/725414066/3> (дата звернення: 10.11.2025).
11. Kriukov O., Melnikov R., Bilenko O., Zozulia A., Herasimov S., Borysenko M., Pavlii V., Khmelevskiy S., Abramov D., Sivak V. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. No 1/5 (97). P. 40–46. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_1%285%29_7 (дата звернення: 14.11.2025).
12. Біленко О. І., Першина К. В., Павлов Д. В. Методика зниження енергії віддачі стрілецької зброї для сил безпеки. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 4 (29). С. 110–115. URL: <https://znp.nangu.edu.ua/article/view/124649> (дата звернення: 23.11.2025).

References

1. Slovník ukraïnskoi movy: v 11 t. [Dictionary of the Ukrainian Language: in 11 vols.] / AN URSS, Instytut movoznavstva; ed. by I. K. Bilodid. Kyiv: Naukova dumka, 1970–1980. Vol. 1. 578 p. Available at: http://ukrlit.org/slovník/slovník_ukraïnskoi_movy_v_11_tomakh (accessed 22 October 2025).
2. Bilenko, O. I., Pavlov, D. V., Pershyna, K. V. (2017). Shliakhy znyzhennia enerhii viddachi striletskoi zbroi dlia syl bezpeky [Ways to reduce recoil energy of small arms for security forces]. Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Natsionalnoi hvardii Ukrainy, 2(30), 9–14. Available at: <https://znp.nangu.edu.ua/article/view/124649> (accessed 22 October 2025).
3. Bilenko, O. I., Bielashov, Yu. O. (2015). Pidvyshchennia operatyvnosti vykonannia snajperskykh vohnevnykh zavdan sylamy bezpeky shliakhom zmenshennia kuta vylotu kuli [Improving the efficiency of sniper fire missions by reducing the bullet departure angle]. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika, 3(43), 16–21. Available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=soivt_2015_3_6 (accessed 29 October 2025).
4. Poliakov, A. P., Zarubin, O. M., Berezanskyi, O. H., Berezanskyi, V. H., Baranik, O. M. (2022). Aviatsiina artyleriiska zbroia: elektronnyi navchalnyi posibnyk kombinovanoho vykorystannia [Aircraft artillery weapons: electronic textbook for combined use]. 2nd ed. Vinnytsia: VNTU; Kharkiv: KhNUPS. 358 p. Available at: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/5584.pdf> (accessed 29 October 2025).
5. Bilenko, O. I., Shabaturova, S. O. (2024). Umova stikosti avtomobilia do perekydannia na poverkhnii z bichnym ukhylom pid chas vedennia vohniu zi zbroi [Vehicle stability condition against overturning on a laterally inclined surface during firing]. Chest i zakon, 4(91), 22–27. Available at: <https://chiz.nangu.edu.ua/article/download/324061/314165/751400> (accessed 29 October 2025).
6. Biomechanical analysis of the shooter-weapon system oscillation. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318665997_Biomechanical_analysis_of_the_shooter-weapon_system_oscillation (accessed 4 November 2025).
7. Kostishyn, B. O. (2012). Model efektu viddachi zbroi pry vykonanni postrilu v sportyvni stribi [Model of weapon recoil effect during shooting in sports shooting]. Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii, 2/4(56), 30–34. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-efektu-viddachi-zbroi-pri-vikonanni-postrilu-v-sportivniy-strilbi> (accessed 4 November 2025).
8. Preliminary physical and mathematical model of the recoil operated firearm within the bolt recoil period. Available at: https://www.researchgate.net/publication/350525387_Preliminary_Physical_and_Mathemati

- [cal Model of the Recoil Operated Firearm within the Bolt Recoil Period](#) (accessed 4 November 2025).
9. Kuzavkov, V. V., Matsaienko, A. M., Poliak, I. Ye. (2023). Model otsinky vplyvu vohnevoho zasobu na pidresornu chastynu transportnoi bazy [Model for assessing the impact of a weapon system on the sprung part of a vehicle base]. *Military Affairs and National Security*, 183, 600–610. Available at: https://www.researchgate.net/publication/377024267_Model_otsinky_vplyvu_vognevogo_zasobu_na_pidresornu_chastynu_transportnoi_bazy (accessed 10 November 2025).
10. Bilenko, O. I. (2005). Vnutrishnia ta zovnishnia balistyka. Chastyna I: Vnutrishnia balistyka [Internal and external ballistics. Part I: Internal ballistics]. Kharkiv: Viiskovyi instytut vnutrishnikh viisk MVS Ukrainy. 99 p. Available at: <https://www.scribd.com/document/725414066/3> (accessed 10 November 2025).
11. Kriukov, O., Melnikov, R., Bilenko, O., Zozulia, A., Herasimov, S., Borysenko, M., Pavlii, V., Khmelevskiy, S., Abramov, D., Sivak, V. (2019). Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/5(97), 40–46. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2019_1%285%29_7 (accessed 14 November 2025).
12. Bilenko, O. I., Pershyna, K. V., Pavlov, D. V. (2017). Metodyka znyzhennia enerhii viddachi striletskoi zbroi dlia syl bezpeky [Methodology for reducing recoil energy of small arms for security forces]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, 4(29), 110–115. Available at: <https://znp.nangu.edu.ua/article/view/124649> (accessed 23 November 2025).



This is an open access journal and all published articles are licensed under a Creative Commons «Attribution» 4.0.