

УДК 623.094

В.Г. Мудрик, Д.О. Торяник, М.І. Зюбан

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВНУТРІШНЬО-БАЛІСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ

В роботі обґрунтовано параметри, викладено принципи побудови і склад експериментальної установки для дослідження засобу вимірювання швидкості руху метаного елемента в каналі ствола. Розроблено методику проведення експерименту, наведено результати експериментальних досліджень з моделювання процесу пострілу та реєстрації і оброблення вимірювальної інформації. Побудовано експериментальну установку, яка дозволяє моделювати функціонування засобу вимірювання швидкості руху метаного елемента в каналі ствола. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень, яка передбачає варіювання параметрів елементів оптичної і механічної частини установки під час проведення експерименту з метою перевірки адекватності математичної моделі засобу вимірювання.

**Ключові слова:** експериментальна установка, засіб вимірювання, швидкість руху метаного елемента, лазерна доплерівська анемометрія, балістичні елементи пострілу, вогнепальна зброя, канал ствола.

### Вступ

**Постановка проблеми.** До балістичних елементів пострілу (БЕП) відносяться дані про зміну тиску  $P(t)$  порохових газів та швидкості  $V(t)$  метаного елемента (МЕ) в функції часу його руху в каналі ствола (КС) від початку першого періоду пострілу до моменту виходу з дульного отвору [1–2].

Визначення точних даних про БЕП є важливим при створенні новітніх зразків зброї, для поточного контролю технічного стану вогнепальної зброї, що знаходиться в експлуатації та ін. [1–2]. В роботі [3] викладено результати установчого експерименту з дослідження працездатності подвійної диференційної схеми лазерної доплерівської анемометрії [4], а також запропоновано математичну модель засобу вимірювання (ЗВ) швидкості руху МЕ. Аналіз джерел похибок ЗВ швидкості руху МЕ проведений в роботі [5].

Результати такого експерименту підтвердили наявність у спектрі змінної складової фотоструму стійкої гармоніки з частотою  $F(t)$ , що несе інформацію про швидкість  $V(t)$  навіть за просторової неузгодженості променів на поверхні МЕ. Це дозволяє стверджувати про можливість використання створеної експериментальної установки для моделювання ЗВ швидкості руху. Таким чином, постає актуальне завдання з реалізації подальших експериментальних досліджень, спрямованих на детальне вивчення процесу функціонування ЗВ за високих швидкостей руху МЕ.

**Метою статті** є обґрунтування будови експериментальної установки для дослідження ЗВ швидкості руху МЕ в каналі ствола, а також розроблення методики експериментальних досліджень ЗВ за значень швидкостей, наближених до реальних умов пострілу.

### Виклад основного матеріалу

Експериментальна установка складається з оптичної, механічної та електронної частин.

До оптичної частини експериментальної установки входять:

- джерело лазерного випромінювання *Laser Pointer* (п. 1, рис. 1). В експерименті використано джерело неперервного режиму роботи потужністю випромінювання 100 мВт і діаметром променя 1 мм двох типів: із довжиною хвилі 532 нм та 650 нм;
- оптичний коліматор (п. 2, рис. 1);
- оптичний відбивач (п. 3, рис. 1): розмір 15×15 мм;
- світлоподільна призма (п. 4, рис. 1): розмір 15×15 мм.

Для спрямування лазерних променів на поверхню МЕ використано систему дзеркал (п. 5, рис. 1).

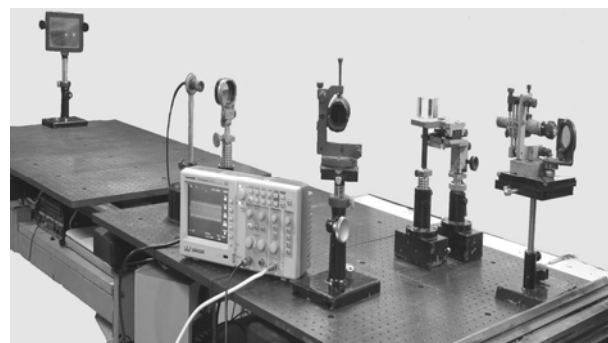


Рис. 1. Оптична частина, фотоприймач та цифровий осцилограф

До механічної частини експериментальної установки (МЧЕУ) входять елементи, робота яких імітує рух МЕ в КС вогнепальної зброї. При цьому конструктивні параметри МЧЕУ максимально наближені до характеристик реальних зразків вогнепа-

льної зброї. Крім того, при розробці МЧЕУ враховані вимоги до безпеки проведення експерименту.

З аналізу характеристик сучасних видів вогнепальної зброї, що знаходяться на озброєнні Національної гвардії України (зокрема, пістолети, автомати, гвинтівки виробництва КП «ФОРТ»), впливають такі вимоги до параметрів МЧЕУ:

- довжина КС – від 0,095 до 0,51 м;
- швидкість руху МЕ – більша за 100 м/с;
- тривалість руху МЕ в КС під час пострілу – 0,006-0,01 с;
- калібр – від 5,45 мм до 18,5 мм.

Отже, для відтворення характеру руху МЕ в КС обрано такі конструктивні параметри елементів МЧЕУ, які дають можливість забезпечити високу швидкість поздовжнього руху МЕ за короткий проміжок часу, при цьому швидкість МЕ по мірі його руху в КС поступово збільшується. Також конструкція МЧЕУ передбачає можливість варіювання середньої та максимальної швидкості руху МЕ. З метою забезпечення вимог безпеки при проведенні експерименту рух МЕ при вильоті з дульного отвору обмежується механічно.

Для приведення МЕ в рух в МЧЕУ використано енергію стисненого повітря. В ході попередніх досліджень встановлено, що використання енергії пружини з високим коефіцієнтом пружності є недоцільним, оскільки при цьому значно ускладнюються як варіювання середньої швидкості руху МЕ (потрібна заміна пружини), так і процес повернення МЧЕУ у вихідний стан (потрібен потужний механізм стискання пружини). Застосування ж стисненого повітря дозволяє змінювати середню швидкість руху МЕ шляхом зміни тиску.

За еквівалент ствола в МЧЕУ використано металеву трубку (поз. 1, рис. 2) із полірованою внутрішньою поверхнею (для забезпечення малого коефіцієнту тертя). Виходячи із вимог, що висуваються до параметрів МЧЕУ, обрано такі параметри ствола: довжина – 400 мм, діаметр КС – 12 мм.

Ствол розташований на опорах, які призначені для його жорсткого кріплення до монолітної основи. З дульної частини ствол має накидну гайку (поз. 2, рис. 2) із наскрізним отвором (діаметр отвору 10 мм) та пружину, які призначені для збереження цілісності МЕ та запобігання його виходу з КС. З тильної (казенної) частини ствол має різьблення для приєднання до нього муфти разом з електромагнітним клапаном.

За еквівалент МЕ в МЧЕУ використано легкосплавний (із алюмінієвого сплаву) поршень. Діаметр МЕ менший за діаметр КС на 0,15 мм, що дозволяє звести до мінімуму прорив стиснутого повітря між його боковою поверхнею та стінками КС.

Для забезпечення зручності при проведенні декількох «пострілів» із різною середньою швидкістю

МЕ використано резервуар (балон) об'ємом 5 л (поз. 3, рис. 2), в якому знаходиться стиснуте повітря, що нагнітається компресором моделі “Coido 250 Psi” (поз. 4, рис. 2). Даний компресор комплектується манометром та дає можливість створити тиск повітря до 1,5 МПа. Резервуар має систему відводів з вентилями (для сполучення з компресором, стволом та атмосферою).



Рис. 2. Механічна частина експериментальної установки

Оскільки експеримент передбачає розвинення високої швидкості руху МЕ за короткий проміжок часу, для сполучення резервуара з каналом ствола застосовано високошвидкісний нормально закритий електромагнітний клапан фірми ODE (поз. 5, рис. 2), який забезпечує проходження потрібної кількості стиснутого повітря до МЕ. Такий клапан витримує максимальний тиск на вході 1,6 МПа, а також характеризується високою пропускною спроможністю (270 л/хв.), яка забезпечується великою площиною тарілки клапана.

До електронної частини експериментальної установки входять цифровий осцилограф Tektronix TDS2022B (п.6, рис. 1), фотоприймач HAMAMATSU H6780-20 (п.7, рис. 1), характеристики якого наведені в [6], а також блок електроживлення та управління (рис. 3).

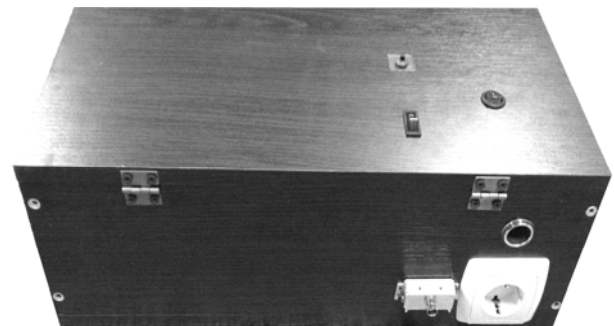


Рис. 3. Блок управління та електроживлення

Блок управління та електроживлення дозволяє дистанційно вмикати (вимикати) компресор, а також вмикати електромагнітний клапан синхронно із запуском розгортки цифрового осцилографу для початку реєстрації вимірювального сигналу. На блоці розташовані: роз'єм (поз. 1, рис. 3) для живлення

компресора; роз'єм (поз. 2, рис. 3) для вмикання електромагнітного клапану; роз'єм (поз. 3, рис. 3) для підключення входу розгортки цифрового осцилографу, а також вмикач для проведення електропуску (поз. 4, рис. 3), який синхронно вмикає елек-

тромагнітний клапан та запускає розгортку осцилографу, і вмикач запуску компресора (поз. 5, рис. 3).

Схема зв'язків між елементами експериментальної установки наведена на рис. 4.

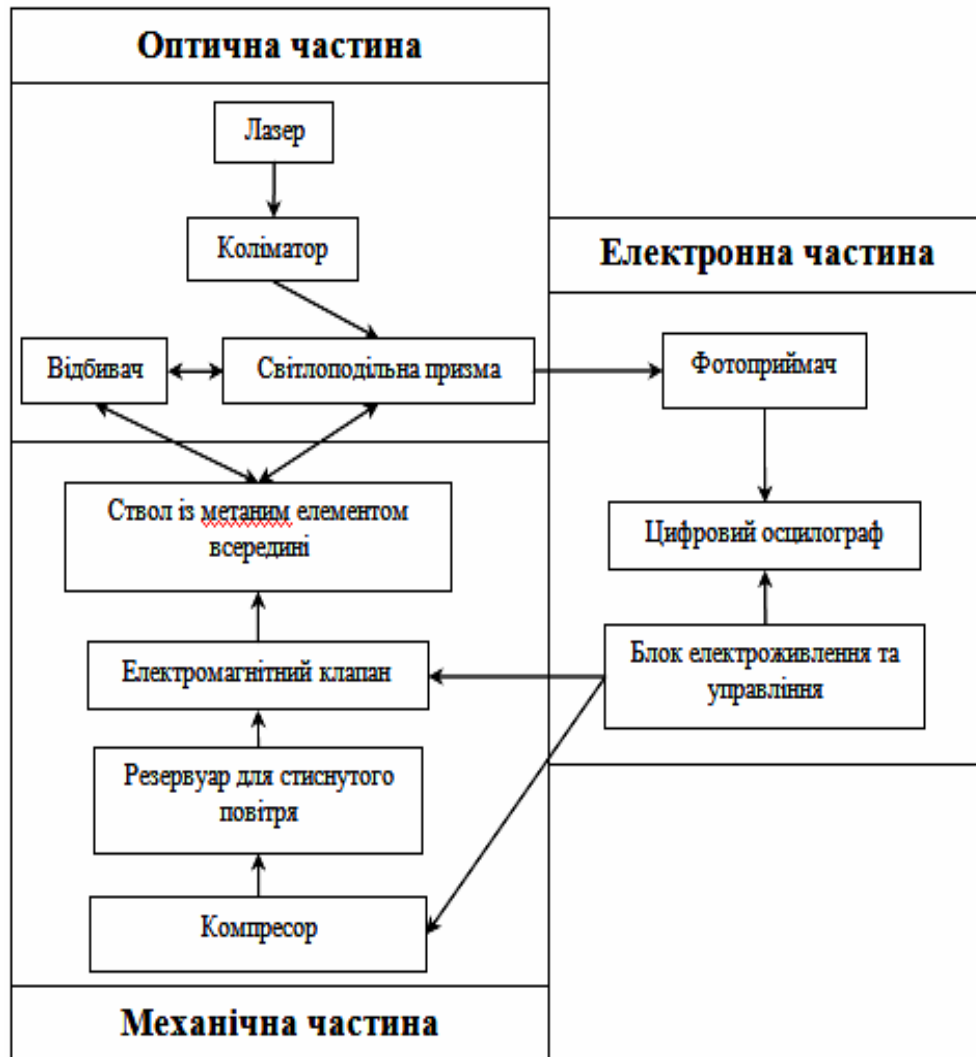


Рис. 4. Структурна схема експериментальної установки

На основі наведених вище принципів та вимог створено експериментальну установку, виконано її монтаж, а також перевірено працездатність та безпечність.

Методика проведення експериментальних досліджень включає підготовку експериментальної установки до проведення вимірювань, проведення експерименту із отриманням вимірювальної інформації та оброблення експериментальних даних.

Підготовка до проведення вимірювань включає такі етапи налаштування оптичної і механічної частини експериментальної установки:

- відтворення бази оптичної схеми (відстань від зовнішньої грані світлоподільної призми до дульного зрізу КС);

- спрямування лазерних променів на поверхню МЕ та формування заданих кутів її зондування  $\alpha$  та  $\beta$ ;

- створення заданого тиску в резервуарі;
- налаштування осцилографу відповідно до очікуваних параметрів вимірювального сигналу;
- створення та перевірка електричних і механічних комутацій.

Проведення експерименту передбачає формування заданого закону руху МЕ в КС та ресетрацію вимірювального сигналу.

При проведенні експерименту певні параметри елементів оптичної і механічної частини для кожного “пострілу” мають варіюватися. До змінюваних параметрів належать:

- частота лазерного випромінювання  $f$ ;

- кут спрямування лазерного променя  $\alpha$ ;
- тиск  $P$  повітря в резервуарі.

В табл. 1 наведено схему варіювання змінюваних параметрів.

Таблиця 1

Варіювання вихідних даних при проведенні експерименту

№ вимірювання	1	2	3	4	5
Вихідні дані експ. установки					
Тиск, $P$	$P_1$	$P_2$			$P_3$
Частота лазерного випромінювання, $f$	$f_1$	$f_2$	$f_1$		$f_1$
Кут, $\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_1$		$\alpha_2$	$\alpha_1$

Необхідність варіювання параметрів елементів оптичної і механічної частини пояснюється таким чином.

З одного боку, при різних значеннях тиску ( $P_1, P_2, P_3$ , набори вихідних даних 1, 3, 5) формуються відмінні закони наростання швидкості руху МЕ, що може бути ідентифіковано за розбіжністю отриманих експериментально кривих швидкості.

З іншого боку, при незмінному значенні тиску  $P_2$ , але при різних значеннях частоти лазерного випромінювання  $f_1, f_2$  та кутів  $\alpha_1, \alpha_2$  (набори вихідних даних 2, 3, 4) змінюється реєстрований доплерівський зсув частоти, але водночас відповідних змін набуває й коефіцієнт  $\frac{2f}{c}(\cos \alpha - \cos \beta)$  [4], який в даному випадку визначається за параметрами експериментальної установки і служить для подальшого розрахунку миттєвих значень швидкості руху МЕ (тут  $c$  – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль). Таким чином, за ступенем збігу трьох кривих швидкості, які визначаються на основі експериментальних даних для доплерівського зсуву частоти, можна судити про адекватність математичної моделі ЗВ, отриманої в [4] теоретичним шляхом.

З метою обмеження впливу випадкових факторів кожне вимірювання швидкості руху МЕ в КС має виконуватись тричі для кожного набору вихідних даних [7–8]. В разі виявлення значних відхилень одного результату від двох інших проводяться повторні вимірювання за таких самих вихідних даних.

Проведення експерименту відбувається наступним чином.

Метаний елемент (поршень) знаходиться в крайньому задньому положенні. На МЕ спрямовані лазерні промені під кутами  $\alpha$  та  $\beta$ . При вмиканні електроспуску відкривається електромагнітний клапан, при цьому МЕ рухається під дією сили тиску повітря. Одночасно з відкриванням електромагнітного клапану відбувається запуск процесу реєстрації вимірювального сигналу цифровим осцилографом.

Після закінчення вимірювань МЕ повертається у вихідне положення.

Результатами даного етапу експерименту є зареєстровані вимірювальні сигнали у вигляді дискретних значень напруги фотоструму на виході фотоприймача. Кожний з цих сигналів відповідає заданій сукупності вихідних даних, що варіюються згідно з табл. 1.

При обробленні експериментальних даних здійснюється перехід від масивів миттєвих значень напруги фотоструму безпосередньо до залежностей  $V(t)$  швидкості руху МЕ від часу. Методика оброблення вимірювальної інформації містить такі етапи:

- імпорт даних для аналізу (відкривання файлів csv-формату, які створені цифровим осцилографом, в обраному програмному математичному пакеті);

- попередня фільтрація (виключення впливу зовнішніх завад);

- виділення для подальшого оброблення часової області зі значущими даними (виключення даних, які не містять корисної інформації, тобто відповідають часу до початку руху МЕ і часу після досягнення МЕ дульного зрізу КС);

- обрання точки на вісі часу та формування симетричного інтервалу відліків напруги в околі цієї точки;

- проведення спектрального аналізу обраного фрагменту сигналу (виконання операції швидкого перетворення Фур'є [9]);

- визначення частоти домінуючої гармоніки фрагменту сигналу;

- приведення частот домінуючих гармонік фрагментів сигналу у відповідність до моментів часу;

- обчислення значень швидкостей руху МЕ відповідно до виразу  $F(t) = \frac{2f V(t)}{c}(\cos \alpha - \cos \beta)$ ,

отриманого в [4], з урахуванням попередньо визначених параметрів елементів експериментальної установки;

- візуалізація отриманої вимірювальної інформації (в таблиці або графічно).

Відповідно до запропонованої методики проведення експериментальних досліджень було виконано операції та отримано результати.

Вихідні дані таблиці 1 варіювалися таким чином:  $P_1=600$  кПа;  $P_2=1000$  кПа;  $P_3=1400$  кПа;  $f_1=0,564$  ПГц;  $f_2=0,474$  ПГц;  $\alpha_1=0,5^\circ$ ;  $\alpha_2=1^\circ$ , при цьому  $\beta_1=1,5^\circ$ .

Отримані експериментальні дані імпортувались до математичного пакету *OriginPro* та аналізувались відповідно до наведеного вище алгоритму.

На рис. 5 наведено приклад осцилограми напруги фотоструму після попередньої фільтрації, яка відповідає першому набору вихідних даних табл. 1.

На рис. 6 наведено приклад результату спектрального аналізу фрагменту сигналу (перший набір вихідних даних), який виконано за допомогою математичного пакету *Origin Pro*. Як видно з рис. 6, домінуюча гармоніка за рівнем значно перевищує завади та побічні гармоніки і добре ідентифікується, а її частота визначається в автоматичному режимі за допомогою вбудованої в пакет *Origin Pro* функції *Quick Peak*.

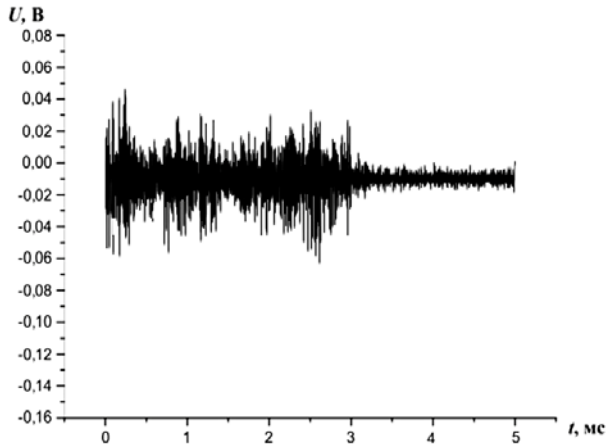


Рис. 5. Осцилограма напруги фотоструму для набору вихідних даних № 1

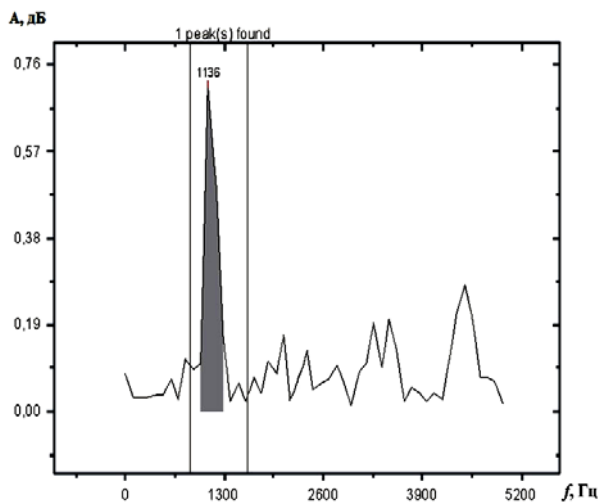


Рис. 6. Спектральна щільність фрагменту сигналу

За результатами визначення частот домінуючих гармонік фрагментів сигналів згідно з математичною моделлю, отриманою в [4], обчислено відповідні значення швидкостей руху МЕ. Отримані криві швидкості руху МЕ в функції часу для усіх наборів вихідних даних подано на рис. 7.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити такі висновки:

– практично підтверджується наявність стійкого вимірювального сигналу та можливість його реєстрації і обробки в умовах проведення вимірювань, що є близькими до реальних;

– вигляд отриманих кривих відповідає очікуваному характеру наростання швидкості руху МЕ в КС експериментальної установки;

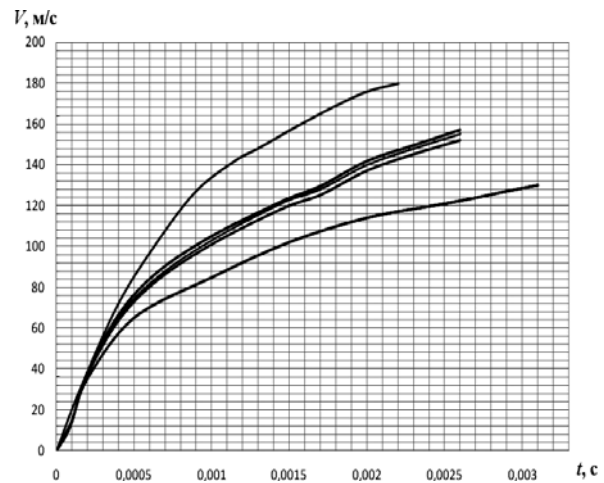


Рис. 7. Графіки залежності швидкості руху МЕ в КС від часу

– наявність просторової неузгодженості лазерних променів на поверхні МЕ на окремих ділянках його руху не призводить до падіння відношення «сигнал/завада» до рівнів, які ускладнюють ідентифікацію домінуючих гармонік доплерівського зсуву частоти;

– обсяг вимірювальної інформації є достатнім для оброблення сигналу та визначення залежностей швидкості руху МЕ в функції часу;

– збіг кривих для наборів вихідних даних 2, 3, 4, які отримані при однакових законах зміни швидкості руху МЕ, свідчить про адекватність математичної моделі, отриманої в [4] (деяка неістотна розбіжність кривих зумовлюється похибками визначення кутів  $\alpha$ ,  $\beta$  та відхиленням частоти  $f$  від паспортного значення).

## Висновки

Побудовано експериментальну установку, яка дозволяє моделювати функціонування ЗВ швидкості руху метаного елемента в каналі ствола. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень, яка передбачає варіювання параметрів елементів оптичної і механічної частини установки під час проведення експерименту з метою перевірки адекватності математичної моделі ЗВ.

Результати експериментальних досліджень підтверджують стійкість вимірювального сигналу (зокрема, на ділянках руху МЕ, де спостерігається просторова неузгодженість лазерних променів), можливість реєстрації і оброблення вимірювальної інформації, а також адекватність математичної моделі ЗВ, отриманої теоретичним шляхом.

## Список літератури

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика [Текст] / М.Е. Серебряков. – М.: Оборониздат ГИОП, 1949. – 469 с.
2. Голомбовский А. К. Теория и расчет автоматического оружия [Текст] / А.К. Голомбовский. – Пенза: ПВАИУ, 1973. – 492 с.
3. Крюков О.М. Перспективи експериментального визначення балістичних елементів пострілу [Текст] / О.М. Крюков, В.Г. Мудрик // Збірник наук. праць Акад. ВВ МВС України. – 2013. – Вип. 1. – С. 21-24.
4. Патент: 88172 Україна, МПК G 01 S 17/02 (2006.01) Лазерний доплерівський вимірювач швидкості руху метального елемента в каналі ствола [Текст] / О.М. Крюков, Г.М. Доля, В.Г. Мудрик. – Заявл. 10.06.2013; Опубл. 11.03.2014. – 8 с.
5. Крюков А.М. Дифференциальная лазерная доплеровская анемометрия объектов со световозвращающей поверхностью [Текст] / А.М. Крюков, Г.Н. Доля, В.Г. Мудрик // ХНУРЭ: науч.-техн. журнал. – Х.: Прикладная радиоэлектроника. – 2013. – Т. 12, № 3. – С. 436-441.
6. Лазерний доплерівський засіб вимірювання швидкості руху метального елемента в каналі ствола: будова та оброблення вимірювальної інформації [Текст] / О.М. Крюков, Г.М. Доля, В.Г. Мудрик, О.А. Надь, О.А. Коваль // ХНУРЕ: наук.-виробн. ж. – Х.: Метрологія та прилади, 2014. – Вип. 1 (45). – С. 151-154.
7. Михайлов К.В. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений [Текст] / К.В. Михайлов. – София: ВТС, 1976. – 388 с.
8. Patent 2691761 США, МКИ G 01 S 13/58. Microwave measuring of projectile speed [Text] / Smith J.N., Oak R., Tenn. – № 6088; claimed. 03.02.1948; published 12.10.1954, НКІ 342/105; 73/167. – 6 p.
9. Patent 4457206 США, МКИ G 01 S 13/58; F 42 C 17/04. Microwave – type projectile communication apparatus for guns [Text] / Toullos P. P., Hartman K. – № 06/269,489; claimed 02.06.1981; published 03.07.1984, НКІ 89/14.5. – 37 p.
10. Patent 0415906 Германия, МКИ G 01 S 13/58; G 01 P 3/66. Method and device for the determination of parameters of motion [Text] / Reinhard, B., Bernhard Z. – № 19900809; claimed 09.08.1990; published 10.02.1993, НКІ G 01 S 13/58 F; G 01 P 3/66 B. – 8 p.
11. Крюков О.М. Проблеми вимірювального контролю параметрів внутрішньобалістичних процесів [Текст] / О.М. Крюков, О.А. Александров // Честь і закон. – 2009. – № 2. – С. 79-89.
12. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике [Текст] / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 991 с.
13. Высокоточный широкодиапазонный измеритель длины волны [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://solarlaser.com/ru/products/high-resolution-wavelength-meters/high-resolution-wide-range-wavelength-meter-model-shr/>
14. Гониометр-спектрометр [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.rostest.ru/Goniometer%20spectrometer%20GS-2.php>.

## References

1. Serebryakov, M.E. (1949), “*Vnutrennyaya balistika*” [Internal ballistics], Oboronizdat GIOP, Moscow, 469 p.
2. Golombovskiy, A.K. (1973), “*Teoria i raschet avtomaticheskogo oruzhiya*” [Theory and calculation of automatic weapons], PVAEU, Penza, 492 p.
3. Kriukov, O.M. and Mudrik, V.G. (2013), “Perspektivu eksperimentalnogo vuznachennya balistichnykh elementiv postriлу” [Prospects for the experimental determination of ballistic elements of the shot], *Akad. Of Int. Forses Ukraine*, No. 1, pp. 21-24/
4. Kriukov, O.M., Dolya, G.N. and Mudrik, V.G. (2014), Patent 88172 Ukraine, WPK G 01 S 17/02 (2006.01), “*Lazerniy dopplerivskiy vumiruvach shvudkosti ruhu metalnogo elementu v kanali stvola*” [Laser Doppler meter of the velocity of the throwing element in the trunk channel], Stated. 10.06.2013; Publish 11.03.2014, 8.
5. Kriukov, O.M., Dolya, G.N. and Mudrik, V.G. (2013), “Differenzialnaya lazernaya doplerovskaya anemometriya ob'ektov so svetovozvrashaushej poverhnostju” [Differential laser Doppler anemometry of objects with a retroreflective surface], *HNU of RE: scienc-techn. Journal, Prikladnaya radioelectronica*, Kharkiv, No. 12 (3), pp. 436-441.
6. Kriukov, O.M., Dolya, G.N., Mudrik, V.G., Nadj, O.A. and Koval, O.A. (2014), “Lazerniy doplerovskiy zasib vumiruvanya shvudkosti ruhu metalnogo elementa v kanali stvola: budova ta obroblennya vumiruvalnoi informacii” [Laser Doppler instrument for measuring the velocity of a metal element in the trunk channel: the structure and processing of measuring information], *HNU of RE: scienc. Journal, Metrologiya ta pruladu*, Kharkiv, No. 1 (45), pp. 151-154.
7. Mihajlov, K.V. (1976), “*Eksperimentalnaya balistika. Priboru I metodu ballisticheskikh izmerenij*” [Experimental ballistics. Instruments and methods of ballistic measurements], VTS, Sphiya, 388 p.
8. Smith, J.N., Oak, R., Tenn (1954), Patent 2691761 USA, WPK G 01 S 13/58 “*Mykrovolnovoe yzmerenye metatel'noy skorosty*” [Microwave measuring of projectile speed], № 6088; Stated. 03.02.1948; Publish. 12.10.1954, NKI 342/105; 73/167, 6.
9. Toullos, P.P. and Hartman, K. (1984), Patent 4457206 USA, WPK G 01 S 13/58; F 42 C 17/04, “*Mykrovolnoviy – pechatayut apparaturu metatel'noy kommunykatsyy dlya ohnestrel'noho oruzhyya*” [Microwave – type projectile communication apparatus for guns], № 06/269,489; Stated. 02.06.1981; Publish. 03.07.1984, NKI 89/14.5, 37.
10. Reinhard, B. and Bernhard, Z. (1993), Patent 0415906 DE, WPK G 01 S 13/58; G 01 P 3/66. “*Metod y ustroystvo dlya opredeleniya parametrov dvizheniya*” [Method and device for the determination of parameters of motion], № 19900809; Stated. 09.08.1990; Publish. 10.02.1993, NKI G 01 S 13/58 F; G 01 P 3/66 B, 8.
11. Kriukov, O.M., Alexandrov, O.O. (2009), “Problemu vumiruvalnogo kontroliu parametrov vnutrishnjobalistichnykh procesiv” [Problems of measuring control of the parameters of intolarabik processes], *Chestj i zakon*, No. 2, pp. 79-89.
12. Vugodskiy, M.Ya. (2006), “*Spravochnik po vushej matematike*” [Handbook of Higher Mathematics], AST: Astrel, Moscow, 991 p.
13. “*Vusokotocnyj shirokodiapazonnij izmeritel dlinu volnu*” [High-precision wide-rangewavelength meter], Available at: <http://solarlaser.com/ru/products/high-resolution-wavelength-meters/high-resolution-wide-range-wavelength-meter-model-shr/>
14. “*Honyometr-spektrometr*”, [Goniometr-spektrometr] Available at: <http://www.rostest.ru/Goniometer%20spectrometer%20GS-2.php>.

**Відомості про авторів:****Мудрик Вадим Геннадійович**

кандидат технічних наук,  
викладач кафедри Національної академії  
Національної Гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-0389-0407>  
e-mail: Mydrik\_vad@gmail.com

**Торяник Дмитро Олександрович**

викладач кафедри Національної академії  
Національної Гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-0634-5330>  
e-mail: Toranikdo@gmail.com

**Зюбан Михайло Іванович**

старший викладач  
Національної академії  
Національної Гвардії України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-0725-0318>  
e-mail: Zyubanmi@gmail.com

**Information about the authors:****Mudrik Vadym**

Candidate of Technical Science  
Lecturer of Department of National Academy  
of the National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-0389-0407>  
e-mail: Mydrik\_vad@gmail.com

**Toryanik Dmitriy**

Lecturer of Department of National Academy  
of the National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-0634-5330>  
e-mail: Toranikdo@gmail.com

**Zyuban Michael**

Senior Instruktor  
of National Academy  
of the National Guard of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-0725-0318>  
e-mail: Zyubanmi@gmail.com

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИ-БАЛЛИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ОРУЖИЯ**

В.Г. Мудрик, Д.А. Торяник, М.И. Зюбан

*В работе обосновано параметры, изложены принципы построения и состав экспериментальной установки для исследования средства измерения скорости движения метаемого элемента в канале ствола. Разработана методика проведения эксперимента, приведены результаты экспериментальных исследований по моделированию процесса выстрела и регистрации и обработки измерительной информации. Построено экспериментальную установку, которая позволяет моделировать функционирование средства измерения скорости движения метаемого элемента в канале ствола. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, которая предусматривает варьирования параметров элементов оптической и механической части установки во время проведения эксперимента с целью проверки адекватности математической модели средства измерения.*

**Ключевые слова:** экспериментальная установка, средство измерения, скорость движения метаемого элемента, лазерная доплеровская анемометрия, баллистические элементы выстрела, огнестрельное оружие, канал ствола.

**EQUIPMENT FOR MEASUREMENT OF INTERNAL-BULLETINAL  
CHARACTERISTICS OF FIREARM**

V. Mudrik, D. Toryanik, M. Zyuban

*The work substantiates the parameters, describes the principles of construction and composition of the experimental installation for studying the means of measuring the velocity of the throwing element in the trunk channel. The method of conducting the experiment is developed, the results of experimental studies on modeling of the shot and recording and processing of measuring information are presented. An experimental installation was developed that allows to model the functioning of the measuring device for measuring the velocity of the throwing element in the trunk channel. A technique for performing experimental studies has been developed, which provides for varying the parameters of the elements of the optical and mechanical parts of the installation during the experiment in order to verify the adequacy of the mathematical model of the measuring instrument. The analysis of the data obtained makes it possible to draw the following conclusions: practically confirms the presence of a stable measuring signal and the possibility of its registration and processing in the conditions of conducting measurements that are close to real ones; the appearance of the obtained curves corresponds to the expected nature of the growth of the velocity of the throwing element in the channel of the barrel of the experimental installation; the presence of spatial inconsistency of laser beams on the surface of a throwing element on separate sections of its motion does not lead to a decrease in the "signal / interference" ratio to the levels that complicate the identification of the dominant harmonics of the Doppler frequency shift; the volume of measuring information is sufficient for processing the signal and determining the dependences of the velocity of the throwing element in the function of time.*

**Keywords:** experimental unit, measurement instrument, velocity of the throwing element, laser Doppler anemometry, ballistic firing elements, firearm, barrel.