

УДК 623.51

О.М. Крюков, О.А. Александров

Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

## ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ВНУТРІШНЬОБАЛІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*Проаналізовано можливості відомих методів визначення параметрів закону зміни тиску порохових газів. Обґрунтовано необхідність поєднання аналітичного моделювання внутрішньобалістичних процесів з експериментальним визначенням закону зміни тиску. Визначено напрями досліджень, спрямованих на створення спеціалізованих засобів вимірювання імпульсного тиску.*

**Ключові слова:** озброєння, внутрішньобалістичні процеси, тиск газів, задачі внутрішньої балістики, методи розв'язання задач, допустиме значення похибки, експериментальні дослідження, підвищення точності моделювання, імпульсний тиск, засоби вимірювання імпульсного тиску.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Дослідження можливостей і шляхів удосконалення існуючого та створення нового озброєння, поліпшення його тактичних, експлуатаційних характеристик – пріоритетні завдання, які постають перед науковцями, зокрема перед науково-педагогічними працівниками внутрішніх військ МВС України.

Наукові дослідження в цій галузі можуть бути спрямовані на проектування зразку зброї та патрону до нього, зразку зброї під існуючий патрон, окремих пристроїв до існуючого зразка зброї з метою його вдосконалення, дослідження порохів з метою визначення їх сили, швидкості і закону горіння та ін.

Визначені напрями досліджень безпосередньо пов'язані з вирішенням комплексу складних задач: розрахунком законів діючих в зброї сил, передаточних чисел кінематичних пар, приведених мас та сил, експериментальним випробуванням зразків зброї на повноту їх відповідності тактико-технічним вимогам, оцінкою зразку зброї та розробкою рекомендацій щодо доцільності його подальшої експлуатації або модернізації.

Характеристики і тактико-технічні властивості будь-якого зразка зброї в значній мірі визначаються характером протікання внутрішньобалістичних процесів і, зокрема, законом зміни тиску порохових газів в каналі ствола та їх дією на всі частини та елементи, що використовують енергію порохових газів. Таким чином, для вирішення задач проектування та модернізації зброї, обґрунтування конструкції стволів, частин та механізмів, оптимізації роботи автоматики потрібно мати точні відомості про закон зміни тиску в каналі ствола.

**Аналіз публікацій.** Вивченням закону зміни тиску газів, що утворюються під час горіння пороху, займається внутрішня балістика. Перша основна задача внутрішньої балістики [1] полягає у визначенні законів  $p(t)$ ,  $p(l)$  зміни тиску і  $v(t)$ ,  $v(l)$  зміни швидкості кулі за часом та за довжиною каналу ствола відповідно. При цьому знаходяться дві основні балістичні характеристики зброї: найбільший тиск газів в

каналі ствола та дульна швидкість. Друга основна задача внутрішньої балістики (задача балістичного проектування зброї) полягає у визначенні параметрів заряджання, при яких снаряд даного калібру й маси отримує задану початкову швидкість [1, 2].

Сучасна практика висуває досить високі вимоги до точності рішення задач внутрішньої балістики. Наприклад, допустиме значення похибки, отриманої при визначенні закону зміни тиску порохових газів, становить 1 – 2 % при розрахунку конструкції ствола, 2 – 4 % при розрахунках частин та механізмів зброї, що використовують енергію порохових газів [2, 3]. Задачі внутрішньої балістики вирішуються за допомогою різних методів.

При застосуванні аналітичних методів розв'язання задач внутрішньої балістики зводиться до вирішення систем диференціальних рівнянь різних видів. Це може бути зроблено майже точно (формули більш складні) або наближено (спрощені формули) [1]. Аналітичне рішення дозволяє швидко та в широких діапазонах аналізувати вплив різних факторів та параметрів на кінцевий результат функціонування механізмів зброї, але водночас, навіть при застосуванні окремих припущень, призводить до складних залежностей та розрахунків, що потрібні для отримання кривих тиску й швидкості.

Тому багато дослідників підходять до вирішення цих задач або на основі спрощених алгебраїчних залежностей з коефіцієнтами, що визначаються згідно з даними дослідів, або на основі емпіричних таблиць та формул, створених за результатами обробки експериментальних даних, отриманих при стрільбі. Такі спрощені формули та таблиці, що не враховують велику складність явища пострілу, але дані яких узгоджені з даними окремих дослідів за допомогою коефіцієнтів, покладено в основу емпіричних (табличних) методів вирішення задач внутрішньої балістики [1, 4].

Недолік емпіричних методів полягає в тому, що вони не враховують вплив окремих дуже суттєвих факторів й умов заряджання та дають адекватний результат лише для обмежених наборів вихідних

даних. При вирішенні поставлених задач вказаними вище методами отримані результати відрізняються від характеристик реальних процесів, оскільки ґрунтуються на численних допущеннях та спрощеннях.

Наприклад, значення максимального тиску порохів газів, знайдене за допомогою аналітичного та емпіричного методів із застосуванням балістичних таблиць [1, 2], може відрізнятися від отриманого експериментальним шляхом на 2 – 10 % (залежно від відносної маси снаряду та значень деяких коефіцієнтів).

Експериментальні дослідження проводяться з метою визначення або уточнення закону (або окремих параметрів закону) зміни тиску порохів газів в стволі та коморах газівідвідних пристроїв за допомогою спеціальних технічних засобів. Відомі крешерний та тензометричний (п'єзоелектричний) методи визначення тиску порохів газів.

Крешерний метод полягає у визначенні максимального тиску за деформацією крешерного циліндру після перебування останнього під впливом сили тиску порохів газів. Перед використанням крешерні циліндри підлягають завчасному таруванню, в ході якого визначається залежність між деформацією крешера та тиском. Точність цього методу суттєво обмежена інерційними властивостями елементів конструкції крешерного пристрою. Тарування крешерних циліндрів відбувається у статичному режимі, тому динамічна похибка визначення максимального тиску є порівняно великою та може бути оцінена лише орієнтовно. Крім того, за допомогою крешерного методу неможливо дослідити характер зміни тиску порохів газів на ділянках його зростання до максимального значення [1].

Тензометричний (п'єзоелектричний) метод ґрунтується на визначенні відносної зміни розміру деталі зброї (наприклад, ствола) під впливом тиску порохів газів за допомогою тензометричних (п'єзоелектричних) датчиків, розташованих на деталях, що деформуються. На основі тензометричних або п'єзоелектричних датчиків створюються засоби вимірювання тиску, які попередньо градуують у одиницях вимірювання тиску. В таких засобах вимірювання відбувається перетворення деформації (тиску) у електричний сигнал, який, як правило, реєструється у вигляді шуканої кривої змінювання тиску [5, 6]. Потенційна точність цього методу суттєво залежить від умов градування засобу вимірювання, а на похибку результату вимірювання впливають спосіб розташування і закріплення датчику, температура, стабільність параметрів елементів електричної схеми та інші чинники [5, 6].

Слід відзначити, що в деяких випадках саме експериментальні методи дають можливість здійснити перевірку адекватності рішень задач внутрішньої балістики, отриманих теоретичними методами, визначити або уточнити окремі коефіцієнти та параметри аналітичних залежностей тощо. Але, як вказано вище, можливості експериментальних досліджень обмежені і залежать від досконалості ме-

тодів та засобів проведення експерименту [1, 2]. Так, значення тиску порохів газів, знайдене експериментальним шляхом, може відрізнятися від дійсного його значення на 10 – 15 % [2].

Існуюча невідповідність між вимогами до точності вирішення задач внутрішньої балістики та можливостями відомих методів і засобів, як правило, частково усувається введенням поправочних коефіцієнтів або коефіцієнтів запасу міцності, що призводить до збільшення допустимих значень напружень при розрахунку на міцність і жорсткість деталей і елементів зброї та до збільшення маси окремих деталей, ускладнення конструкції частин та механізмів зброї, невиправданих витрат тощо.

**Метою статті** є аналіз шляхів підвищення точності моделювання внутрішньобалістичних процесів.

### Викладення основного матеріалу

Можна визначити декілька шляхів досягнення такої мети. Перший пов'язаний з удосконаленням аналітичних методів вирішення задач внутрішньої балістики. Застосування саме цього шляху виглядає найбільш коректним та обґрунтованим, але водночас вимагає якісного розвитку і значного ускладнення відповідного математичного апарату та відмови від існуючої системи спрощень і допущень. На даному етапі розвитку науки відсутня повна система вихідних даних з урахуванням потрібної їх точності, тому можливість реалізації цього шляху виглядає дещо сумнівно.

Другий шлях полягає в поєднанні аналітичного моделювання внутрішньобалістичних процесів з експериментальним визначенням окремих їх параметрів. Зосередження зусиль на реалізації цього шляху, на думку авторів, є найбільш доцільним, оскільки дозволить застосовувати відомі і добре відпрацьовані теоретичні методи внутрішньої балістики, але одночасно провести уточнення рішень, отриманих за їх допомогою. Однак створення спеціалізованого засобу вимірювання тиску в каналі ствола є складною науково-технічною задачею. Специфіка сприйняття, передавання та обробки вимірювальної інформації зумовлена як високою верхньою межею діапазону вимірювання (до 400 МПа), малою тривалістю явища пострілу (до 0,001 с), так і екстремальними значеннями впливних величин (наприклад, високою температурою порохів газів, яка може сягати декількох тисяч °С [1]).

Таким чином, реалізація визначеного шляху підвищення точності моделювання внутрішньобалістичних процесів вимагає вирішення наступних часткових наукових задач.

1. Аналіз сучасного стану методів і засобів вимірювання імпульсного тиску. Дослідження умов проведення вимірювань, впливних величин, розробка вимог до основних технічних характеристик спеціалізованих засобів вимірювання тиску в каналі ствола. Вибір та обґрунтування фізичного принципу побудови чутливого елемента (датчику тиску).

2. Побудова узагальненої математичної моделі датчику тиску, аналіз його метрологічних характе-

ристик. Встановлення взаємозв'язків між параметрами математичної моделі і фізичними параметрами датчику тиску, розробка методики синтезу чутливого елемента, що має задані характеристики.

3. Розробка принципів побудови та структури засобу вимірювання тиску. Обґрунтування вимог до складу і характеристик елементів структурної схеми такого засобу вимірювання.

4. Розробка узагальненого алгоритму обробки вимірювальної інформації з урахуванням вимог до точності визначення кривої змінювання тиску. Обґрунтування рекомендацій з апаратного і програмного забезпечення такого алгоритму.

5. Побудова математичних моделей, аналіз характеру прояву і оцінка складових похибки засобу вимірювання тиску. Розробка способів забезпечення потрібної точності вимірювань. Оцінка результуючої інструментальної похибки, обґрунтування рекомендацій з реалізації та застосування засобу вимірювання тиску.

6. Експериментальна перевірка адекватності математичних моделей елементів структурної схеми засобу вимірювання тиску і моделей процесів обробки вимірювальної інформації.

На основі результатів досліджень, що мають бути виконані в межах визначених напрямів, може бути створено сучасний спеціалізований засіб вимірювання імпульсного тиску.

## Висновки

Для вирішення задач проектування та модернізації зброї, обґрунтування конструкції стволів, частин та механізмів, оптимізації роботи автоматики потрібно мати точні відомості про закон зміни тиску в каналі ствола, визначення якого є однією із задач внутрішньої балістики. Неточність вирішення задач внутрішньої балістики призводить до невиправданого збільшення запасів на міцність при розрахунках деталей і елементів зброї, зростання маси окремих деталей, ускладнення конструкції частин та механізмів зброї.

Підвищити точність моделювання внутрішньобалістичних процесів можна шляхом уточнення

аналітичних рішень за результатами експерименту з визначення тиску в каналі ствола із застосуванням спеціалізованого засобу вимірювання. Такий засіб вимірювання має характеризуватися широким діапазоном вимірювання і високою швидкістю.

Існують певні фактори, що обмежують можливість застосування відомих засобів вимірювання тиску. Тому подальші дослідження полягатимуть у розробці наукових основ синтезу засобу вимірювання імпульсного тиску, обґрунтуванні його структурно-алгоритмічної схеми, дослідженні метрологічних характеристик, а також розробці комплексу практичних рекомендацій зі створення та застосування методів і засобів вимірювання імпульсного тиску в каналі ствола.

В перспективі галузь застосування таких засобів вимірювання може бути розширена. Так, перспективними напрямками застосування засобу вимірювання імпульсного тиску можуть бути оцінка стану елементів стрілецької зброї, що перебуває в експлуатації, та стану боєприпасів, що знаходяться на тривалому зберіганні, на основі аналізу закону змінювання тиску порохових газів.

## Список літератури

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика / М.Е. Серебряков и др. – М.: Оборониздат ГИОП, 1949. – 673 с.
2. Голомбовский А.К. Теория и расчёт автоматического оружия / А.К. Голомбовский и др. – Пенза: ПВАИУ, 1973. – 493 с.
3. Кириллов В.М. Основы устройства и проектирования стрелкового оружия / В.М. Кириллов и др. – Пенза: ПВАИУ, 1963. – 342 с.
4. Таблицы внутренней баллистики. Часть 1. Давления. Второе издание – М.: ВИМВС СССР, 1948. – 348 с.
5. Дж.Фрайден Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. Евтихиева Н.Н. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для ВУЗов / Н.Н. Евтихиева и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

Надійшла до редколегії 25.02.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.П. Захаров, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.М. Крюков, А.А. Александров

*Проанализированы возможности известных методов определения параметров закона изменения давления пороховых газов. Обоснованно необходимость сочетания аналитического моделирования внутрибаллистических процессов с экспериментальным определением закона изменения давления. Определены направления исследований, направленные на создание специализированных средств измерения импульсного давления.*

**Ключевые слова:** вооружение, внутрибаллистические процессы, давление газов, задачи внутренней баллистики, методы решения задач, допустимое значение погрешности, экспериментальные исследования, повышения точности моделирования, импульсное давление, средства измерения импульсного давления.

## PROBLEMS OF MEASURING CONTROL OF PARAMETERS OF ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

A.M. Krukov, A.A. Alexanderov

*The potential of known methods to define parameters of the Law of powder gases pressure has been analysed. Necessity of combining analytical modelling of intraballistic processes with experimental definition of the Law of powder gases pressure has been proved. The directions of researches to create specialized means to measure pulse pressure have been defined.*

**Keywords:** armament, внутрибаллистические процессы, pressure of gases, tasks of internal ballistics, methods of decision of tasks, legitimate value of error, experimental researches, increases of design exactness, impulsive pressure, facilities of measuring of impulsive pressure.