

УДК 623.51

О. М. Крюков, О. А. Александров

### ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ 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.*

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

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

Зазначені напрями досліджень безпосередньо пов'язані з розв'язуванням комплексу складних задач: розрахунками законів сил, що діють у зброї, передаточних чисел кінематичних пар, зведених мас та сил, експериментальними випробуваннями зразків зброї на їх відповідність тактико-технічним вимогам, оцінюванням зразка зброї та розробкою рекомендацій щодо доцільності його подальшої експлуатації або модернізації.

Характеристики і тактико-технічні властивості будь-якого зразка зброї значною мірою визначаються характером перебігу внутрішньобалістичних процесів, зокрема, законом зміни тиску порохових газів у 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 останніх досліджень і 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 знаходять дві основні балістичні характеристики зброї: найбільший тиск газів у каналі ствола та дульну швидкість. Друга основна задача внутрішньої балістики (задача балістичного проектування зброї) полягає у визначенні параметрів заряджання, при яких снаряд даного калібру й маси набуває заданої початкової швидкості [1, 2].

Сучасна практика висуває достатньо високі вимоги до точності розв'язування задач внутрішньої балістики. Наприклад, допустиме значення похибки при визначенні закону зміни тиску порохових газів становить 1 – 2 % для розрахунку конструкції ствола та 2 – 4 % для розрахунків частин і механізмів зброї, що використовують енергію порохових газів [2, 3].

Задачі внутрішньої балістики розв'язують за допомогою різних методів.

У разі застосування аналітичних методів розв'язування задач внутрішньої балістики зводиться до вирішення систем диференціальних рівнянь різних видів, що може бути зроблено майже точно (формули більш складні) або наближено (спрощені формули) [1].

Аналітичне рішення дозволяє швидко, в широких діапазонах аналізувати вплив різних факторів та параметрів на функціонування механізмів зброї, але водночас, навіть при застосуванні окремих припущень, призводить до складних залежностей та розрахунків кривих тиску й швидкості.

З цієї причини багато дослідників підходять до розв'язування зазначених задач або на основі спрощених алгебраїчних залежностей з коефіцієнтами, що визначаються за 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 у повному обсязі складність явища пострілу, але які узгоджені з даними окремих дослідів за допомогою коефіцієнтів, покладено в основу емпіричних (табличних) методів розв'язування 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 розв'язуванні поставлених задач вказаними вище методами отримані результати відрізняються від характеристик реальних процесів, оскільки ґрунтуються на численних припущеннях та спрощеннях.

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

Експериментальні дослідження проводять з метою визначення або уточнення закону (або окремих його параметрів) зміни тиску порохових газів у стволі та камерах газівідвідних пристроїв за допомогою спеціальних технічних засобів. Відомі крешерний та тензометричний (п'єзоелектричний) методи визначення тиску порохових газів.

Крешерний метод полягає у визначенні максимального тиску за деформацією крешерного циліндра під дією сили тиску порохових газів. Перед використанням крешерні циліндри підлягають таруванню, в ході якого визначають залежність між деформацією крешера та тиском. Точність цього методу суттєво обмежена інерційними властивостями елементів конструкції крешерного пристрою. Тарування крешерних циліндрів виконують 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 порохових 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 порохових газів за допомогою тензометричних (п'єзоелектричних) датчиків, розташованих на деталях, що деформуються. На основі тензометричних або п'єзоелектричних датчиків створюють 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 градуювання засобу вимірювання, а на похибку результату вимірювання впливають спосіб розташування і закріплення датчика, 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 розв'язків задач внутрішньої балістики, отриманих за допомогою теоретичних методів, визначити або уточнити окремі коефіцієнти та параметри аналітичних залежностей тощо. Але, як вказано вище, можливості експериментальних досліджень обмежені і залежать від досконалості методів та засобів проведення експерименту [1, 2]. Так, значення тиску порохових газів, знайдене експериментальним шляхом, може відрізнитися від дійсного його значення на 10 – 15 % [2].

Існуюча невідповідність між вимогами до точності розв'язування задач внутрішньої балістики та можливостями відомих методів і засобів, як правило, частково усувається введенням поправочних коефіцієнтів або коефіцієнтів запасу міцності, що призводить до збільшення припустимих значень напружень у 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 визначення шляхів підвищення точності моделювання внутрішньобалістичних процесів.

**Виклад основного матеріалу.** Можна визначити декілька шляхів досягнення такої мети.

Перший пов'язаний з удосконаленням аналітичних методів розв'язування задач внутрішньої балістики. Цей шлях є 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 та одночасно провести уточнення результатів, 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 величин, що впливають на явище пострілу (наприклад, високою температурою порохових газів, яка може сягати декількох тисяч °С) [1].

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

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

2. Розроблення узагальненої математичної моделі датчика тиску, аналіз його метрологічних характеристик. Розрахунок залежностей між параметрами математичної моделі і фізичними параметрами датчика тиску, розроблення методики синтезу чутливого елемента, що має задані характеристики.

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

4. Розроблення узагальненого алгоритму оброблення 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 оцінювання складових похибки засобу вимірювання тиску. Розроблення способів забезпечення потрібної точності вимірювань. Оцінювання 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 оброблення вимірювальної інформації.

За результатами 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 потрібні точні відомості про закон зміни тиску в каналі ствола, визначення якого є однією із задач внутрішньої балістики. Неточність розв'язування задач внутрішньої балістики призводить до невиправданого завищення запасів на міцність при розрахунках деталей і елементів зброї, збільшення маси окремих деталей, ускладнення конструкції частин та механізмів зброї.

Підвищити точність моделювання внутрішньобалістичних процесів можливо шляхом уточнення аналітичних розв'язків за результатами експерименту з визначення тиску в каналі ствола із застосуванням спеціалізованого засобу вимірювання. Такий засіб повинен мати широкий діапазон вимірювання і високу швидкодію.

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

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

## **Список використаних джерел**

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. : ВИ МВС СССР, 1948. – 348 с.
5. Фрайден Дж. Современные датчики : справочник / Дж. Фрайден – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
6. Евтихиева Н. Н. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для ВУЗов / Н. Н. Евтихиева и др. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

*Стаття надійшла до редакції 18.05.2009 р.*