

УДК 531.768:623.4.018



О. М. Крюков

ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ПЕРСПЕКТИВНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДКОЧУВАННЯ СТВОЛА

У статті викладено принцип побудови акселерометра на базі газогідродинамічного датчика для вимірювання параметрів відкочування ствола. Отримано статичні характеристики датчика, проведено порівняльний аналіз його інформативних параметрів, наведено кількісну оцінку чутливості датчика.

К л ю ч о в і с л о в а: акселерометр, датчик, експериментальна балістика, відкочування ствола, інформативний параметр, прискорення, рідинний компонент, вільна поверхня.

Постановка проблеми. Одним із способів дослідження дії порохових газів під час пострілу є вимірювання елементів відкочування ствола (шляху, швидкості, прискорення). Визначення параметрів елементів відкочування широко використовується у дослідженні роботи противідкотних пристроїв, автоматики зброї, ефективності дульних гальм тощо.

Для визначення параметрів руху ствола в експериментальній балістиці застосовуються механічні (барабанні, камертонні та ін.), оптичні (дзеркальні) та електричні (індукційні, фотоелектричні, п'єзоелектричні та найбільш досконалі – тензометричні) вимірювачі [1, 2].

Найбільш цінними для балістичних досліджень є прилади, що забезпечують визначення кривої прискорення ствола – акселерометри. Реєстрація прискорення дозволяє визначати сили, що діють на ствол при відкочуванні, і, таким чином, досліджувати закон зміни тиску в каналі ствола під час пострілу. Якщо ж виникає необхідність визначити швидкість або шлях ствола при відкочуванні, крива прискорення може бути проінтегрована (одноразово або дворазово відповідно).

Існуючі акселерометри не повністю задовольняють зростаючі вимоги до їх універсальності (приспосованості для використання із різними зразками зброї без значної модифікації), масогабаритних характеристик або точності вимірювань. Крім того, можливості застосування існуючих приладів обмежуються одним або декількома факторами, такими, як низька перевантажувальна спроможність, залежність результатів вимірювань від зовнішніх впливних величин, нелінійний характер градуовальної характеристики та ін.

Одним із перспективних напрямів, які дозволять створити акселерометр, що має сукупність бажаних технічних характеристик, є застосування датчика на основі рідинного компонента. Тому дослідження шляхів удосконалення існуючих приладів та розроблення принципів побудови перспективних акселерометрів на основі рідинного компонента для вимірювання елементів відкочування ствола є актуальним науковим завданням.

Аналіз публікацій. Схеми побудови акселерометрів різного призначення на основі рідинного компонента запропоновані у працях П. В. Яковлева, В. М. Панкратова та ін. Датчики, виконані у вигляді рідинного компонента, можуть бути розділені на декілька груп, а саме: гідростатичні, гідродинамічні, газогідростатичні, газогідродинамічні [3–5].

Попередній аналіз датчиків, виконаних на основі рідинного компонента, свідчить, що найбільш досконалі технічні характеристики притаманні однокомпонентному газогідродинамічному датчику з циліндричною формою порожнини ротора і безконтактним зніманням інформації [6]. Основними перевагами такого датчика є висока перевантажувальна здатність, відсутність сил сухого тертя, інваріантність до зовнішніх електромагнітних полів, малі маса та габарити, а також можливість швидкого переналаштування межі вимірювання і чутливості шляхом змінювання кутової швидкості обертання ротора [7, 8].

Втім, незважаючи на різноманіття відомих схем, у джерелах інформації відсутні детальні відомості про характеристики таких датчиків та результати аналізу їх застосовності для визначення параметрів відкочування.

Метою статті є визначення статичних характеристик газогідродинамічного датчика та оцінювання його чутливості з погляду на перспективи застосування для вимірювання параметрів відкочування стволів.

Викладення основного матеріалу. Принципом функціонування однокомпонентного газогідродинамічного датчика з циліндричною формою порожнини ротора і безконтактним зніманням інформації є вимірювання реакції рідинного компонента при його рівномірному обертанні відносно фіксованої осі на прискорення уздовж цієї осі. Рух рідини розглядається в циліндричній системі координат zoz , зв'язаній зі стволом, причому вісь z співпадає з віссю обертання ротора і спрямована вздовж напрямку руху ствола.

Після завершення перехідних процесів рідина в порожнині переходить у стан стійкого обертання з кутовою швидкістю ω , що дорівнює кутовій швидкості обертання ротора. Вираз, який описує форму вільної поверхні рідини, визначається із розв'язку рівнянь Ейлера [9] для сталого руху і має вигляд

$$r^2 = \frac{a}{\omega^2}(2z - C) + r_0^2, \quad (1)$$

де a – осьове прискорення, C , r_0 – параметри, які залежать від розмірів і форми порожнини.

Для порожнини циліндричної форми

$$C = H, \quad r_0 = R\sqrt{\frac{H-h}{H}},$$

де H, R – відповідно висота та радіус порожнини; h – рівень рідини у вертикально розташованій порожнині при $\omega = 0$.

Вираз (1) є основним рівнянням, яке дозволяє визначити прискорення a . З цього виразу можна отримати статичні характеристики датчика, тобто залежності інформативного параметра датчика від значення вимірювального сигналу в сталому режимі. Аналіз статичних характеристик дозволяє визначити чутливість і здійснити вибір інформативного параметра, який задовольняє вимоги до точності вимірювань, лінійності характеристик і фізичної реалізованості принципу знімання вимірювальної інформації про положення датчика.

У разі застосування радіуса вільної поверхні рідини як інформативного параметра статичні характеристики нелінійні, однак, вони можуть бути лінеаризовані відносно приросту вимірюваного прискорення Δa з використанням біноміальної форми запису

$$\left[1 + \frac{aH^2}{\omega^2 R^2 (H-h)} \right]^{\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{aH^2}{2\omega^2 R^2 (H-h)}, \quad (2)$$

при цьому похибка лінеаризації зумовлена неврахуванням малої величини порядку $-0,25a^2 H^4 \omega^{-4} R^{-4} (H-h)^{-2}$.

Лінеаризована статична характеристика для приросту радіуса вільної поверхні рідини набирає такого вигляду:

$$\Delta r = \frac{2z - H}{2\omega^2 r_0} \Delta a. \quad (3)$$

Лінеаризована статична характеристика для приросту різниці радіусів вільної поверхні рідини в двох різних перетинах z_1 та z_2 може бути подана таким чином:

$$\Delta(r_1 - r_2) = \frac{z_1 - z_2}{\omega^2 r_0} \Delta a. \quad (4)$$

У випадку застосування площі контакту рідини з одним із торців порожнини ротора як інформативного параметра статична характеристика строго лінійна і має такий вигляд:

$$\Delta S = \mp \frac{\pi H}{\omega^2} \Delta a, \quad (5)$$

де знак “–” відповідає передньому торцю, а знак “+” – задньому.

Статична характеристика для приросту різниці площ контакту рідини в нижньому і верхньому торцях порожнини ротора також лінійна і може бути подана у вигляді

$$\Delta(S_H - S_B) = \frac{2\pi H}{\omega^2} \Delta a. \quad (6)$$

При виборі інформативного параметра датчика необхідно враховувати два фактори.

1. Нелінійність статичної характеристики призводить до появи в результатах вимірювань додаткової складової похибки, зумовленої реакцією датчика на інерційні збурення. Використання лінеаризованої залежності $\Delta r(\Delta a)$ супроводжується появою похибки лінеаризації δ_l , яка визначається виразом

$$\delta_l = \left(1 - \frac{H \Delta a}{2\omega^2 r_0 \Delta r_l} \right), \quad (7)$$

де

$$\Delta r_l = \sqrt{\frac{a + \Delta a}{\omega^2} H + r_0^2} - \sqrt{\frac{a}{\omega^2} H + r_0^2}. \quad (8)$$

У практичній реалізації датчика потрібно оцінювати і враховувати таку похибку. Разом з тим характеристики $\Delta S(\Delta a)$ строго лінійні відносно Δa .

2. Наявність бічного прискорення w_ζ , перпендикулярного до вимірювальної осі датчика, призводить до зміщення вільної поверхні рідини у напрямку цього прискорення на відстань Δ_b , яка визначається виразом [10]

$$\Delta_b = \frac{w_\zeta}{2\omega^2} \left[1 - \left(\frac{r_0}{a} \right)^2 \right], \quad (9)$$

при цьому форма вільної поверхні не змінюється, і, відповідно, незмінною залишається площа контакту рідини з торцем порожнини ротора.

У випадку застосування радіуса вільної поверхні рідини як інформативного параметра потрібне прийняття спеціальних конструктивних рішень, спрямованих на виключення складової похибки, зумовленої зміщенням Δ_b . Разом з тим при застосуванні площі контакту рідини з одним із торців порожнини ротора як інформативного параметра складова похибки, зумовлена зміщенням Δ_b , відсутня.

Взагалі інваріантність площі контакту рідини з торцем порожнини ротора до бічних прискорень є важливою перевагою газогідродинамічного датчика порівняно з іншими видами датчиків лінійних прискорень. Разом зі зняттям обмежень на бічні прискорення така особливість дозволяє уникнути спеціальних заходів для виключення впливу дебалансу ротора, який може мати місце внаслідок недосконалості технології його виготовлення.

Таким чином, виходячи із вимог до лінійності статичних характеристик датчика та інваріантності його вихідного сигналу до бічних прискорень, доцільним є використання площі контакту (різниці площ контакту) рідини з торцем (торцями) порожнини ротора.

Аналіз отриманих статичних характеристик (5), (6) свідчить, що чутливість датчика становить $6 \dots 200 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^2 / \text{м}$ в діапазоні кутових швидкостей обертання ротора $50 \dots 200 \text{ с}^{-1}$ і є цілком прийнятною в плані зняття і подальшого оброблення вимірюваного сигналу у разі застосування, наприклад, оптичних або ємнісних вимірювальних перетворювачів [11].

Висновки

Перспективним напрямком удосконалення акселерометрів для вимірювання параметрів відкочування ствола є їх побудова на основі газогідродинамічного датчика. Найбільш доцільним є використання площі контакту рідини з торцем порожнини ротора як інформативного параметра датчика. Застосування газогідродинамічного датчика дозволить реалізувати його переваги: високу перевагтажувальну здатність, відсутність сил сухого тертя, можливість швидкого переналаштування межі вимірювання і чутливості, а також задовольнити сучасні вимоги до технічних характеристик акселерометрів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на побудову математичної моделі і оцінювання похибок такого датчика.

Список використаних джерел

1. Медведева, Н. П. Экспериментальная баллистика [Текст] / Н. П. Медведева. – Томск : Том. ун-т, 2006. – 172 с.
2. Шкворников, П. Н. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений [Текст] / П. Н. Шкворников, Н. М. Платонов. – София: ВТС, 1978. – 394 с.
3. А.с. 560181 СССР, МКИ G 01 P 15/08. Акселерометр [Текст] / Яковлев П. В., Пашкин Ю. В. (СССР). – 2445367; заявл. 14.10.75 ; опубл. 30.05.77, Бюл. № 20. – 4 с.
4. А.с. 415583 СССР, МКИ G 01 P 15/08. Акселерометр [Текст] / Яковлев П. В. (СССР). – 2025162 ; заявл. 25.07.72 ; опубл. 15.11.74, Бюл. № 6. – 6 с.
5. Панкратов, В. М. О неустановившемся течении вращающейся жидкости при наличии свободной поверхности [Текст] / В. М. Панкратов, Ю. В. Чеботаревский // Аэродинамика. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1982. – Вып. 1. – С. 133–138.
6. Крюков, А. М. Принципы построения датчиков положения чувствительного элемента гравиметра [Текст] / А. М. Крюков // Информационные системы. – Харьков : НАНУ: ПАНИ: ХВУ, 1998. – Вып. 1 (9). – С. 74–77.
7. Яковлев, П. В. Принципы построения акселерометра с жидким чувствительным элементом [Текст] / П. В. Яковлев, В. Г. Войтенков, Ю. А. Абрамов // Исследование элементов и систем управления и электроснабжения. – Харьков : ХВВКУ, 1984. – С. 33–37.
8. А.с. 851269 СССР, МКИ G 01 P 15/11. Акселерометр [Текст] / Абрамов Ю. А., Терешков В. В. (СССР). – 32793656/18-10 ; заявл. 09.07.79 ; опубл. 30.07.81, Бюл. № 28. – 6 с.
9. Ламб, Г. Гидродинамика [Текст] / Г. Ламб. – Москва : Оборонгиз : ГИТТЛ, 1947. – 928 с.
10. Абрамов, Ю. А. Методы анализа элементов и систем автоматического управления [Текст] / Ю. А. Абрамов, С. В. Говаленков, А. М. Крюков. – Харьков : ХВВКИУРВ, 1992. – 120 с.
11. Датчики [Текст] : справочное пособие / под ред. Е. С. Полищука. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.

Стаття надійшла до редакції 06.11.2017 р.

УДК 531.768:623.4.018

А. М. Крюков

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТКАТА СТВОЛА

В статье изложен принцип построения акселерометра на базе газогидродинамического датчика для измерения параметров отката ствола. Получены статические характеристики датчика, проведен сравнительный анализ его информативных параметров, дана количественная оценка чувствительности датчика.

К л ю ч е в ы е с л о в а : акселерометр, датчик, экспериментальная баллистика, откат ствола, информативный параметр, ускорение, жидкостный компонент, свободная поверхность.

UDC 531.768:623.4.018

O. M. Kriukov

THE PRINCIPLE OF CONSTRUCTING OF A PROSPECTIVE ACCELEROMETER FOR THE PARAMETERS OF A BARREL RETRACTION MEASURING

The principle of construction of an accelerometer on the basis of a gas-hydrodynamic sensor to measure the parameters of the barrel retraction is described. The static characteristics of the sensor are obtained, a comparative analysis of its informative parameters is carried out, and the sensitivity of the sensor is quantitatively evaluated.

К e y w o r d s : accelerometer, sensor, experimental ballistics, trunk retraction, informative parameter, acceleration, liquid component, free surface.

Крюков Александр Михайлович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.