

УДК 623.51

О.М. КРЮКОВ, О.А. АЛЕКСАНДРОВ

Академія внутрішніх військ МВС України

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНА СХЕМА ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ МИТТЄВИХ ЗНАЧЕНЬ ТИСКУ В КАНАЛАХ СТВОЛІВ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ

Проаналізовано обмеження подання структурної схеми на основі елементарних динамічних ланок, що відображають фізично реалізовані первинний та вторинні вимірювальні перетворювачі. Визначено шлях подолання вказаних обмежень. На основі сукупності математичних моделей датчика тиску запропоновано структурно-алгоритмічну схему засобу вимірювання миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї. Наведено рекомендації з корекції вимірювального сигналу, моделювання та врахування поправок, обчислення параметрів форми кривої тиску за умови реалізації вимірювань в реальному масштабі часу.

Ключові слова: засіб вимірювання, структурно-алгоритмічна схема, вимірювальна інформація, цифрова корекція, температурна поправка.

Вступ

Постановка проблеми. Засоби вимірювання (ЗВ) миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї працюють в умовах швидкозмінного вхідного сигналу при високій температурі та мають відповідати високим вимогам до верхньої межі діапазону вимірювання і точності вимірювання. Перспективним шляхом удосконалення таких ЗВ є поєднання сучасного датчика імпульсного тиску, вторинних вимірювальних перетворювачів, аналого-цифрового перетворювача та обчислювального компоненту, що реалізує певні алгоритми цифрової обробки сигналів. Зокрема, в обчислювальному компоненті на основі електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) можуть виконуватись такі операції, як введення поправок, корегування результатів вимірювань, обчислення окремих параметрів форми кривої тиску, а також зберігання та відображення вимірювальної інформації [1].

Однією з основних задач, що виникають при розробці ЗВ миттєвих значень тиску, є побудова його структурної схеми на основі елементарних динамічних ланок, що відображають фізично реалізовані первинний та вторинні вимірювальні перетворювачі [1, 2]. Структурна схема визначає порядок та особливості перетворення вимірювальної інформації і дозволяє аналізувати взаємодію динамічних ланок. Але при цьому подання структурної схеми у традиційному вигляді не дозволяє відобразити зміст перетворень, які відбуваються у обчислювальному компоненті. Також структурна схема не дозволяє простежити зв'язки фізично реалізованих перетворювачів з програмами (алгоритмами), що отримують від них вхідні дані для подальшої обробки.

Таким чином, актуальною науковою задачею є розробка структурно-алгоритмічної схеми, яка б відображала не тільки структуру і фізичні зв'язки елементів ЗВ миттєвих значень тиску, але й зміст перетворень вимірювальної інформації в обчислювальному компоненті та відповідні інформаційні зв'язки.

Аналіз публікацій. Способи подання структури засобів вимірювання тиску, до складу яких входять віртуальні ланки, розглянуті в роботах [3, 4]. Однак в цих роботах не розкрито такі вимірювальні операції, як введення поправок та корегування результатів вимірювання тиску.

У відомих публікаціях, присвячених загальним принципам побудови вимірювальних систем [5, 6], а також розробці структурно-алгоритмічних схем [7], відсутні науково обгрунтовані рекомендації з урахування специфіки вимірюваної величини (імпульсного тиску в каналі ствола), обсягу інформаційної взаємодії між елементами ЗВ та принципів математичної формалізації процесу обробки вимірювальної інформації.

Таким чином, результати досліджень, викладені в цих роботах, не можуть бути безпосередньо застосовані при розробці ЗВ миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї.

Метою статті є розроблення структурно-алгоритмічної схеми ЗВ миттєвих значень тиску, яка відображала б взаємодію елементів, що реалізуються фізично, і віртуальних ланок (блоків), які є фрагментами програмно-апаратних засобів, із зазначенням алгоритмів, у відповідності до яких відбувається перетворення вимірювальної інформації.

Викладення основного матеріалу

В основу структурно-алгоритмічної схеми покладено структурну схему ЗВ миттєвих значень тиску (рис. 1), побудовану за розімкнутою схемою.

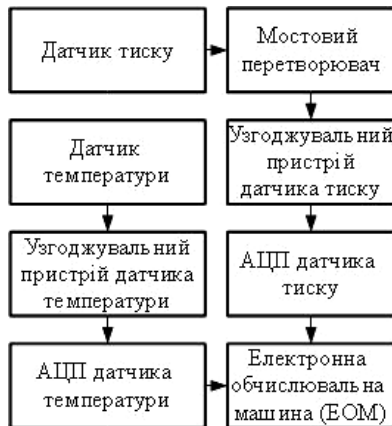


Рис. 1. Структурна схема ЗВ

До складу структурної схеми ЗВ входять:

– датчик тиску, що є сукупністю декількох елементарних динамічних ланок [8]. Вхідним сигналом датчика є тиск $p(t)$, вихідним – відносна зміна опору $\delta R(t)$. Зв'язок між вхідним та вихідним сигналами визначається виразом

$$\delta R(t) = L^{-1} \{ W(s) L \{ p(t) \} \}, \quad (1)$$

де $W(s)$ – відома передаточна функція датчика, яка визначається його фізичними параметрами;

– мостовий перетворювач, вихідним сигналом якого є напруга $U(t)$:

$$U(t) = k_{br} \delta R(t), \quad (2)$$

де k_{br} – коефіцієнт, що залежить від напруги живлення мостового перетворювача та кількості чутливих елементів датчика тиску;

– датчик температури, що за реальних умов проведення вимірювань розглядається як безінерційна динамічна ланка. Вхідним сигналом датчика є температура $T(t)$ чутливого елемента, вихідним – напруга $U_T(t)$:

$$U_T(t) = k_T T(t), \quad (3)$$

де k_T – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей чутливого елемента датчика температури;

– узгоджувальні пристрої, вихідними сигналами яких є узгоджені за рівнем з аналого-цифровими перетворювачами напруги $U_K(t)$, $U_{KT}(t)$:

$$\begin{aligned} U_K(t) &= k \cdot U(t), \\ U_{KT}(t) &= k_{KT} \cdot U_K(t), \end{aligned} \quad (4)$$

де k , k_{KT} – передаточні коефіцієнти;

– аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), що здійснюють перетворення вхідних сигналів $U_K(t)$, $U_{KT}(t)$ у послідовність миттєвих значень напруги $U_K(nT')$, $U_{KT}(jT'')$ через проміжки часу T' , T'' :

$$U_K(nT') = U_K(t) \Big|_{t=nT'}, \quad (5)$$

$$U_{KT}(jT'') = U_{KT}(t) \Big|_{t=jT''},$$

де n , j – номери тактів перетворення АЦП датчика тиску та АЦП датчика температури;

– обчислювальний пристрій, який є сукупністю апаратного та програмного забезпечення і використовується для вводу, обробки і зберігання вимірювальної інформації за відповідними алгоритмами. Обчислювальний пристрій може бути реалізований на базі електронно-обчислювальної машини з відкритою архітектурою або спеціалізованого мікропроцесорного пристрою;

– пристрій відображення інформації, призначений для графічного представлення результатів вимірювання і результатів обробки вимірювальної інформації в зручному для користувача вигляді.

Запропонована структурно-алгоритмічна схема ЗВ миттєвих значень тиску наведена на рис. 2.

При цьому, поряд із зазначеними вище елементами структури, в обчислювальному пристрої виокремлено блоки формування масиву миттєвих значень тиску, цифрової корекції динамічної похибки, урахування температурної похибки і обчислення параметрів форми кривої тиску, а також деякі допоміжні блоки.

Блок формування масиву миттєвих значень тиску на кожному n -му такті перетворення зчитує з АЦП датчика тиску код миттєвого значення напруги $U_K(nT')$ та заносить його до чарунки $Y(n)$ одновимірного масиву.

В блоці корекції динамічної похибки реалізовано алгоритм, оснований на цифровій фільтрації вимірювального сигналу. Коректор представляє собою віртуальний фільтр, передаточна функція $W^*(z)$ якого отримана на основі обернення і білінійного z -перетворення [2] передаточної функції датчика тиску $W(s)$:

$$W^*(z) = \left(1/W(s) \right) \Big|_{s=2(1-z^{-1})(1+z^{-1})^{-1}/t_d}, \quad (6)$$

де t_d – період дискретизації вхідного сигналу цифрового коректору.

Для елементарних ланок другого, першого та нульового порядку, з яких складається датчик тиску [8], співвідношення, що зв'язують вихідний і вхідний сигнали коректора, матимуть вигляд

$$Y(n-2) \left(4T_m^2 + t_d^2 - 4\xi_m T_m t_d \right) - Y(n-1) \times$$

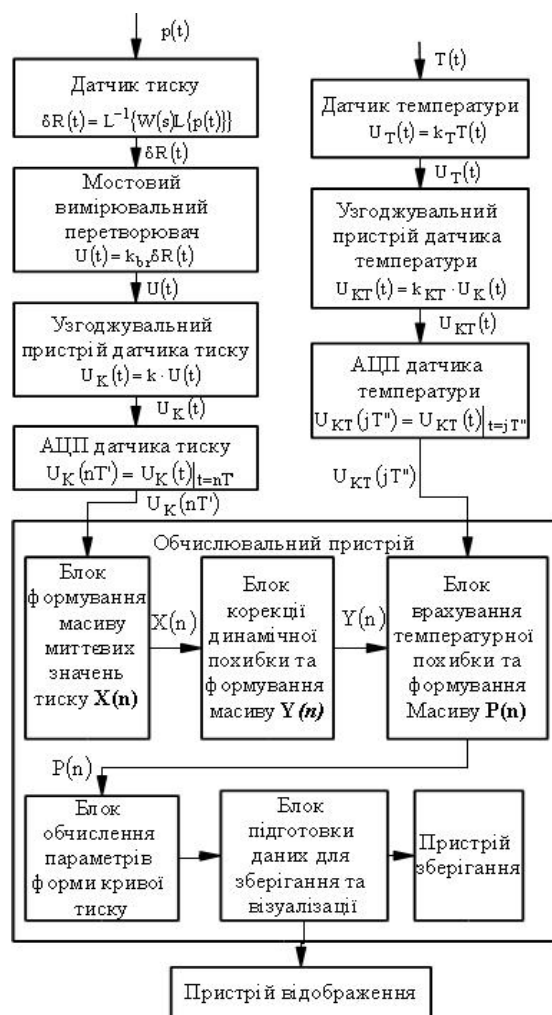


Рис. 2. Структурно-алгоритмічна схема ЗВ миттєвих значень тиску

$$\begin{aligned} & \times (8T_m^2 - 2t_d^2) + Y(n) (4T_m^2 + 4\xi_m T_m t_d + t_d^2) = \\ & = X(n) k_m t_d^2 + X(n-1) 2k_m t_d^2 + X(n-2) k_m t_d^2, \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & Y(n-1)(t_d - 2T_u) + Y(n)(2T_u + t_d) = \\ & = X(n)t_d + X(n-1)t_d, \quad (8) \end{aligned}$$

$$X(n) = K_s Y(n), \quad (9)$$

де k_m , ξ_m , T_m – коефіцієнт передачі, параметр затухання та стала часу передаточної функції другого порядку; T_u – стала часу передаточної функції першого порядку; K_s – коефіцієнт передачі передаточної функції нульового порядку.

В блоці корекції динамічної похибки згідно з виразами (7), (8), (9) здійснюється перетворення вимірювальної інформації, що міститься в масиві $X(n)$, а результати зберігаються в одновимірному масиві $Y(n)$ $P(n)$ скорегованих миттєвих значень тиску.

Блок врахування температурної поправки побудовано на основі математичної моделі температурної похибки датчика тиску [9].

На кожному j -му такті перетворення отриманий за допомогою АЦП датчика температури код миттєвого значення напруги $U_{KT}(jT^n)$ використовується для розрахунку температурної поправки δU_T відповідно до виразу [9].

$$\delta U_T = \left| 1 - \frac{1 + \alpha_{st} T}{(1 + \alpha_g T)(1 + \alpha T)} \cdot \frac{1 - \mu^2 k_\beta^2(T)}{k_\beta(T) k_{EP}(T) (1 - \mu^2)} \right|, \quad (10)$$

де T – температура датчика; α_g – коефіцієнт теплового розширення рідини; α_{st} – коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу мембрани; μ – коефіцієнт Пуасона матеріалу мембрани; $k_{EP}(T)$ – залежний від температури коефіцієнт, що характеризує зміну модуля пружності зі зміною температури; $k_\beta(T)$ – залежний від температури коефіцієнт, що характеризує зв'язок стискуваності рідини з температурою; $k_\mu(T)$ – залежний від температури коефіцієнт, що характеризує зв'язок коефіцієнта Пуасона для матеріалу мембрани з температурою; α – температурний коефіцієнт, що характеризує залежність опору тензорезистивного елемента від температури.

Поправка δU_T підсумовується зі значеннями, що зберігаються у відповідних чарунках масиву $Y(n)$, а результати цієї операції реєструються у одновимірному масиві $P(n)$.

В блоці обчислення параметрів форми кривої тиску програмно реалізовані відомі співвідношення внутрішньої балістики [10] для визначення максимального тиску p_{max} , часу $t_{p_{max}}$, за який тиск досягає максимуму, та деяких інших величин.

Блок підготовки даних для зберігання та візуалізації представляє собою сукупність підпрограм для оброблення, зберігання даних та взаємодії зі складовими операційної системи з метою візуалізації отриманої інформації у зручному для користувача вигляді за допомогою засобів виведення інформації.

Висновки

Запропоновано структурно-алгоритмічну схему ЗВ миттєвих значень тиску, яка дозволяє проводити дослідження засобу вимірювання за його структурою і за змістом алгоритмів перетворення вимірювальної інформації. Така структурно-алгоритмічна схема є основою для формалізації процедури моделювання та врахування поправок, корекції вимірювального сигналу, обчислення параметрів форми кривої тиску і може бути застосована при реалізації вимірювання миттєвих значень тиску в реальному масштабі часу.

Література

1. Крюков, О.М. Шляхи підвищення точності моделювання внутрішньо балістичних процесів [Текст] / О.М. Крюков, О.А. Александров // Системи озброєння та військова техніка. – 2009. – № 1. – С. 79 – 89.
2. Попов, Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
3. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием [Текст] / В.В. Денисенко. – М.: Телеком, 2009. – 240 с.
4. Susani, M. Open architecture hierarchical predictive control for saturation avoidance [Текст] / M. Susani, D. Dumur // 9th IEEE International Workshop on Advance Motion Control. – 2006, March – P. 33– 38.
5. Цапенко, М.П. Измерительные информационные системы: структуры, алгоритмы, системно-техническое проектирование [Текст]: учеб. пособие для вузов / М.П. Цапенко. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 440 с.
6. Рубичев, Н.А. Измерительные информационные системы [Текст]: учебное пособие / Н.А. Рубичев. – М.: Дрофа, 2010. – 334 с.
7. Крюков, О.М. Структурно - алгоритмічна схема гравіметричного комплексу та етапи обробки вимірювальної інформації [Текст] / О.М. Крюков, В.М. Чинков // Вестник ХГПУ. – 1998. – № 10. – С. 77 – 81.
8. Крюков, О.М. Математична модель датчика для вимірювання миттєвих значень тиску в каналах стволів стрілецької зброї [Текст] / О.М. Крюков, О.А. Александров // Системи озброєння та військова техніка. ХУПС. – 2010. – № 4. – С. 83 – 89.
9. Крюков, О.М. Математична модель температурної похибки датчика миттєвих значень тиску для дослідження внутрішньобалістичних процесів [Текст] / О.М. Крюков, О.А. Александров // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Наукове забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ МВС України» Академії ВВ МВС України, 30 бер. 2011 р. – Х., Академія ВВ МВС України. – С. 27 – 29.
10. Серебряков, М.Е. Внутренняя баллистика [Текст] / М.Е. Серебряков. – М.: Оборониздат, 1962. – 673 с.

Надійшла до редакції 11.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., завідувач кафедри авіаційних приладів та вимірювань М.Д. Кошовий, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", Харків.

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ СХЕМА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДАВЛЕНИЯ В КАНАЛАХ СТВЛОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

А.М. Крюков, А.А. Александров

Проанализированы ограничения представления структурной схемы на основе элементарных динамических звеньев, которые отражают физически реализованные первичные и вторичные измерительные преобразователи. Определены пути преодоления указанных ограничений. На основании совокупности математических моделей датчика давления предложено структурно-алгоритмическую схему средства измерения мгновенных значений давления в каналах стволов стрелкового оружия. Приведены рекомендации по коррекции измерительного сигнала, моделирования и учета поправок, расчета параметров формы кривой давления при условии реализации измерений в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: средство измерение, структурно-алгоритмическая схема, измерительная информация, цифровая коррекция, температурная поправка.

THE STRUCTURAL-ALGORITHMIC SCHEME MEANS MEASUREMENT OF THE INSTANTANEOUS VALUES OF PRESSURE IN THE BARREL SMALL ARMS

O.M. Kryukov, O.A. Alexandrov

The structural limitations filing schemes based on elementary dynamic links that reflect the physically implemented primary and secondary transducers have been analyzed. Ways of overcoming these limitations have been identified. Based on the totality of mathematical models of the pressure sensor proposed structural and algorithmic scheme means of measuring the instantaneous pressure in the barrels of small arms have proposed. The recommendations for correcting the measuring signal, simulation and amendment inputting, the calculation of shape parameters of the pressure curve with the implementation of measurements in real time have given.

Key words: measuring instruments, structural-algorithmic scheme, measurement information, the digital correction, temperature correction.

Крюков Олександр Михайлович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри озброєння та стрільби Академії внутрішніх військ МВС України, , Харьков, Украина.

Александров Олександр Анатолійович – ад'юнкт кафедри озброєння та стрільби Академії внутрішніх військ МВС України, Харьков, Украина, e-mail: myworkplace8@gmail.com.