

## ТЕОРІЯ ТА ТЕХНІКА ВИМІРЮВАННЯ

УДК 681.5.017

Є. Пістун, Г. Леськів

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

### ПОБУДОВА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОГІДРОДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НА МОСТОВИХ ДРОСЕЛЬНИХ СХЕМАХ

© Пістун Є., Леськів Г., 2003

**This article contains the principles of building and modelling of gashydrodynamic measuring converters at throttle bridge circuits. Generalized models and some schemes of such measuring converters are presented.**

Проблеми, пов'язані з розробкою й вдосконаленням контрольно-вимірювальної техніки та її метрологічним забезпеченням, і на сьогодні є достатньо гострими і актуальними. Одним із перспективних методів, що уможливує вирішення деяких із вказаних проблем, є газогідродинамічний дросельний метод вимірювання [1]. Його реалізують пристрої, побудовані на базі газогідродинамічних ефектів, які виникають при протіканні газу чи рідини. Однак широке застосування таких пристроїв в реальних системах автоматизації технологічних процесів можливе за наявності чітких принципів їх побудови, методів їх розрахунку і оптимального проектування.

Завдання побудови, моделювання та проектування газогідродинамічних дросельних вимірювальних перетворювачів розглядаються в багатьох публікаціях та наукових роботах [2 – 4], в яких розглянуто нові підходи до розробки, моделювання і проектування газогідродинамічних дросельних вимірювальних перетворювачів на складених дросельних елементах із використанням теоретико-множинної концепції [2], математичний опис структур побудови схем вимірювальних перетворювачів на базі теорії впорядкованих множин [3], наведено математичні моделі та приклади побудови схем вимірювальних перетворювачів на одному, двох, трьох і більше елементах [2 – 4]. Розроблені принципи дають змогу не лише описати структуру будь-якої вимірювальної схеми, а й синтезувати нові структури побудови вимірювальних схем, а відповідно і вимірювальні перетворювачі із новими можливостями.

Більш широкі функціональні можливості порівняно із вимірювальними схемами на одному, двох чи трьох дроселях мають мостові дросельні вимірювальні схеми. Ці можливості додатково розширюються за умови використання в таких схемах складених дроселів (утворених в певний спосіб із первинних дроселів). І, власне, *метою цієї статті* є аналіз особливостей побудови газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на мостових дросельних вимірювальних схемах при різних режимах роботи, синтез їх математичних моделей та аналіз функціональних можливостей.

Мостова дросельна схема (рис.1) утворюється з двох подільників тиску, один з яких побудований на дроселях 1 і 2, а другий – на дроселях 3 і 4, причому ці подільники завжди мають загальне живлення (тиск  $P_{вх}$  – на вході і тиск  $P_{вих}$  – на виході ) і працюють в одному і тому самому середовищі. Остання умова робить можливим перетікання середовища із міждросельної камери одного подільника в міждросельну камеру другого подільника, а, отже, уможливорює застосовувати вторинний перетворювач чи вимірювальний прилад із різним вхідним гідравлічним опором. Масові витрати середовища через дроселі 1, 2, 3 і 4, які утворюють мостову схему, а також через вторинний прилад 5 позначені на рис. 1 відповідно через  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  та  $Q_5$ , а загальна масова витрата середовища через міст – через  $Q_M$ .

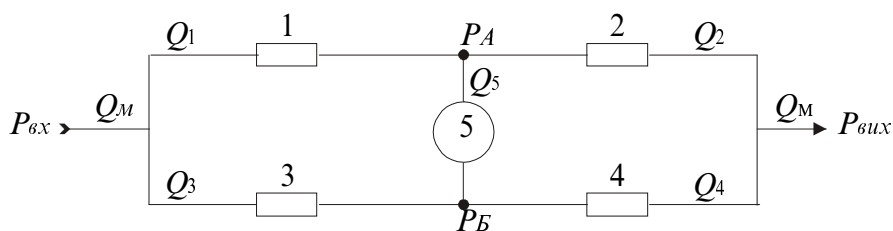


Рис. 1. Мостова дросельна вимірювальна схема  
1, 2, 3, 4 – дроселі; 5 – вторинний перетворювач (вимірювальний прилад)

Залежно від значення вхідного гідравлічного опору  $R_n$  вторинного приладу мостова дросельна схема може працювати в трьох режимах навантаження:

- а) при  $R_n = \infty$ , коли через прилад 5 немає потоку середовища;
- б) при  $R_n = 0$ , коли міждросельні камери подільників моста з'єднані каналом протікання, по якому вільно протікає середовище;
- в) при  $0 < R_n < \infty$ , коли прилад створює деякий гідравлічний опір потокові середовища в каналі протікання.

Режим  $R_n = \infty$ , зокрема має місце при встановленні у вихідній діагоналі моста дифманометра, а режим  $R_n = 0$  – при встановленні у вихідній діагоналі моста термоанометра.

Із умови матеріального балансу масових потоків середовища в каналах вищевказаної схеми математичну модель мостової дросельної схеми можна подати у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = Q_2 + Q_5; \\ Q_3 = Q_4 - Q_5; \\ Q_M = Q_1 + Q_3; \\ Q_1 = f_1(P_{вх}, P_A, B_n, B_{\kappa_1}, B_{e_1}); \\ Q_2 = f_2(P_A, P_{вих}, B_n, B_{\kappa_2}, B_{e_2}); \\ Q_3 = f_3(P_{вх}, P_B, B_n, B_{\kappa_3}, B_{e_3}); \\ Q_4 = f_4(P_B, P_{вих}, B_n, B_{\kappa_4}, B_{e_4}); \\ Q_5 = f_5(P_A, P_B, B_n, B_{\kappa_5}, B_{e_5}); \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $P_{\text{вх}}, P_{\text{вих}}$  – абсолютні тиски рідини відповідно на вході і на виході вимірювальної схеми;

$P_A, P_B$  – міждросельні тиски подільника;

$f_1, f_2, f_3, f_4$  та  $f_5$  – витратні характеристики відповідно дроселів 1, 2, 3 і 4, а також приладу 5, за умови, що його вхідний гідравлічний опір знаходиться в межах  $0 < R_n < \infty$ ;

$B_k, B_n, B_e$  – відповідно комплекси, що визначаються конструкцією дроселя, параметрами рідини, що протікає через дросель, та емпіричними коефіцієнтами, що враховують реальність рідини та термодинамічних процесів її протікання в дросельному елементі [1, 5]. Індокси 1, 2, 3 і 4 відносять змінні в системі (1) відповідно до номера дроселя згідно з рис. 1, решта позначень в (1) також відповідають позначенням на рис. 1.

Якщо в схемі використано складені дроселі, то їх витратні характеристики згідно з [2] необхідно подати відповідними рівняннями типу  $f_i$  або системою рівнянь, аналогічною до (1).

Для прикладу запишемо модель мостової вимірювальної схеми, виконаної на протилежно включених ламінарних і турбулентних дросельних елементах, у вихідній діагоналі якої встановлено дифманометр, та за умови протікання через дроселі мостової схеми нестискуваної рідини:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = Q_2; \\ Q_3 = Q_4; \\ Q_M = Q_1 + Q_3; \\ Q_1 = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \alpha_1 \cdot R_1^2 \cdot [(P_{\text{вх}} - P_A) \cdot \rho]^{0.5}; \\ Q_2 = \frac{\pi \cdot R_2^4 \cdot \rho}{8 \cdot l_2 \cdot \mu} \cdot (P_A - P_{\text{вих}}); \\ Q_3 = \frac{\pi \cdot R_3^4 \cdot \rho}{8 \cdot l_3 \cdot \mu} \cdot (P_{\text{вх}} - P_B); \\ Q_4 = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \alpha_4 \cdot R_4^2 \cdot [(P_B - P_{\text{вих}}) \cdot \rho]^{0.5}; \\ \Delta P = P_B - P_A \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $\mu$  і  $\rho$  – в'язкість і густина середовища;

$R_1, R_2, R_3, R_4$  – радіуси отворів дроселів 1, 2, 3 і 4, відповідно;

$\alpha_1$  і  $\alpha_4$  – емпіричні коефіцієнти витрати турбулентних дроселів 1 і 4, відповідно;

$l_2, l_3$  – довжини каналів ламінарних дроселів 2 і 3, відповідно.

Інші позначення та індексація в (2) відповідають системі (1).

Основні властивості вимірювальних перетворювачів, побудованих по мостовій схемі з дифманометром у вихідній діагоналі, визначаються властивостями гідравлічних подільників тиску, з яких складаються ці схеми. Моделі таких подільників, зокрема використаних в (2), мають такий вигляд:

а) турбулентно-ламінарний подільник

$$Q = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \alpha \cdot R_T^2 \cdot [(P_{\text{вх}} - P_A) \cdot \rho]^{0.5} = \frac{\pi \cdot R_{\text{Л}}^4}{8 \cdot l_{\text{Л}} \cdot \mu} \cdot \rho \cdot (P_A - P_{\text{вих}}); \quad (3)$$

а) ламінарно-турбулентний подільник

$$Q = \frac{\pi \cdot R_{Л}^4 \cdot \rho}{8 \cdot l_{Л} \cdot \mu} \cdot (P_{вх} - P_{Б}) = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \alpha \cdot R_{Г}^2 \cdot [(P_{Б} - P_{вих}) \cdot \rho]^{0.5}. \quad (4)$$

Моделі подільників на інших типах дроселів записуються за аналогією до (3) і (4).

Рівняння (3) і (4) аналітично можна розв'язати відносно міждросельних тисків подільників так:

$$P_A = P_{вих} - \frac{1}{2} \cdot B_{ТЛ} \cdot B_{Пn} + \frac{1}{2} \cdot [4 \cdot B_{ТЛ} \cdot B_{Пn} \cdot (P_{вх} - P_{вих}) + B_{ТЛ}^2 \cdot B_{Пn}^2]^{0.5}; \quad (5)$$

$$P_B = P_{вх} + \frac{1}{2} \cdot B_{ЛТ} \cdot B_{Пn} - \frac{1}{2} \cdot [4 \cdot B_{ЛТ} \cdot B_{Пn} \cdot (P_{вх} - P_{вих}) + B_{ЛТ}^2 \cdot B_{Пn}^2]^{0.5}, \quad (6)$$

де  $B_{Пn}$  – параметричний комплекс подільника, що визначається для вказаних подільників через аналогічні комплекси  $B_n$  ламінарного і турбулентного дроселів, що залежать згідно з [2] від параметрів середовища;

$$B_{Пn} = \mu^2 / \rho, \quad (7)$$

$B_{ТЛ}$  і  $B_{ЛТ}$  – комплекси відповідно турбулентно-ламінарного і ламінарно-турбулентного подільників тиску, які визначаються через комплекси  $B_{\kappa}$  і  $B_e$  турбулентного і ламінарного дроселів, що залежать згідно з [2] від конструктивних та емпіричних характеристик дроселів;

$$B_{ТЛ} = 128 \cdot \alpha^2 \cdot R_1^4 \cdot l_2^2 / R_2^8; \quad (8)$$

$$B_{ЛТ} = 128 \cdot \alpha^2 \cdot R_4^4 \cdot l_3^2 / R_3^8. \quad (9)$$

Враховуючи вирази (5) та (6), вихідний сигнал схеми, яка описується моделлю (2), матиме такий вигляд:

$$\Delta P = P_B - P_A = P_{вх} - P_{вих} + \frac{1}{2} \cdot B_{Пn} (B_{ЛТ} + B_{ТЛ}) - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot B_{ТЛ} \cdot B_{Пn} \cdot (P_{вх} - P_{вих}) + B_{ЛТ}^2 \cdot B_{Пn}^2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot B_{ЛТ} \cdot B_{Пn} \cdot (P_{вх} - P_{вих}) + B_{ТЛ}^2 \cdot B_{Пn}^2}. \quad (10)$$

Розв'язок (10) для системи (2) отримано для умов роботи мостової схеми при  $R_n = \infty$  і стабілізації перепаду тисків  $\Delta P_{жс} = P_{вх} - P_{вих}$ .

Моделі мостових дросельних вимірювальних схем з іншими типами дросельних елементів описуються системами рівнянь згідно з (1) аналітично до системи (2). Однак не для всіх таких схем (залежно від умов роботи мостової схеми) можна отримати аналітичні залежності, що встановлюють зв'язок вихідного сигналу з інформативними та неінформативними фізичними величинами, зокрема з параметрами середовища і дросельних елементів, як це було зроблено вище. В таких випадках для моделювання цих схем використовують ЕОМ та спеціальні методи і алгоритми.

Проаналізуємо систему рівнянь (1) з метою визначення можливостей побудови вимірювальних перетворювачів на основі мостової вимірювальної схеми.

Вхідною величиною такого вимірювального перетворювача може бути будь-яка з величин, що входить до системи рівнянь (1) і має ступінь свободи, тобто величина, яка

може змінюватись незалежно від зміни інших величин, що входять в (1). Це такі величини, як витрата  $Q_M$ , тиски  $P_{ex}$  та  $P_{вих}$ , комплекси  $B_K, B_n, B_e$  чи величини, що визначають ці комплекси, наприклад, різні параметри середовища і різні параметри дроселів. Вихідною величиною перетворювача повинні вже бути ті величини системи (1), які можуть змінюватись залежно від зміни вхідних величин перетворювача. Це такі величини, як  $Q_M, P_{ex}, P_{вих}, Q_5, P_A, P_B$  чи їх похідні, такі як  $P_B - P_A, P_A - P_{вих}, P_B - P_{вих}, P_{ex} - P_A, P_{ex} - P_B$ , а також  $P_{ex} - P_{вих}$ . У відомому стандартному варіанті застосування мостової схеми як вихідної величини використовують лише  $P_B - P_A$  або  $Q_5$ . Оскільки у вимірювальних перетворювачах і приладах прямої дії повинна бути лише одна вхідна величина, то всі решта із перерахованих вище величин, що входять в (1), повинні бути сталі або застabilізовані. Тут однак слід враховувати, що величини  $Q_5, P_{ex}$  і  $P_{вих}$  є взаємопов'язаними, і тому одну з них залежно від виду вхідної величини перетворювача стабілізувати не потрібно. Це пояснюється в такий спосіб. Якщо представити мостову дросельну схему у вигляді окремого дроселя, наприклад четвертого порядку [2], то він характеризується величинами  $Q_M, P_{ex}$  і  $P_{вих}$  таким чином, що одна з них завжди однозначно визначається значеннями двох інших. Для нестискуваних середовищ, де абсолютний тиск середовища не впливає на його параметри, замість  $P_{ex}$  і  $P_{вих}$  можна користуватись перепадом тисків  $\Delta P_{жс} = P_{ex} - P_{вих}$ . В цьому випадку взаємопов'язаними є вже  $\Delta P_{жс}$  і  $Q_M$ .

Вищерозглянуті вимоги до стабілізації величин системи (1) накладають обмеження на режими живлення вимірювальних перетворювачів, побудованих на мостовій дросельній схемі. Так, при вимірюванні будь-якого параметра  $X$ , що визначає комплекси  $B_K, B_n$  і  $B_e$ , можливі три режими роботи перетворювача:

- а) стабілізація абсолютних тисків  $P_{ex}$  і  $P_{вих}$ ;
- б) стабілізація витрати  $Q_M$  і абсолютного тиску  $P_{ex}$ ;
- в) стабілізація витрати  $Q_M$  і абсолютного тиску  $P_{вих}$ .

Цей самий вимірювальний перетворювач для нестискуваних середовищ може вже працювати в таких двох режимах живлення:

- а) стабілізації перепаду тисків  $\Delta P_{жс}$ ;
- б) стабілізації витрати  $Q_M$ .

При вимірюванні витрати  $Q_M$  чи тиску ( $P_{ex}$  чи  $P_{вих}$ ) в режимах живлення вимірювального перетворювача немає необхідності стабілізувати один із параметрів, порівняно із вищевказаними режимами живлення. Так, наприклад, перетворювач витрати може працювати в таких режимах живлення:

- а) стабілізації абсолютного тиску  $P_{ex}$ ;
- б) стабілізації абсолютного тиску  $P_{вих}$ .

Для нестискуваних середовищ в такому перетворювачі не вимагається стабілізація навіть цих тисків.

Отже, на базі вищевказаної схеми, яка описується моделлю (1), можуть бути побудовані вимірювальні перетворювачі різноманітних параметрів рідин і газів,

різноманітних параметрів дросельних елементів, а також витрати і тиску, причому внаслідок різноманітних режимів живлення і режимів навантаження схеми, а також різноманітних можливих вихідних сигналів існує і багато різноманітних схем побудови таких перетворювачів. Нижче розглянуто деякі з них.

Так, схеми вимірювальних перетворювачів з вихідним сигналом у вигляді перепаду тиску  $\Delta P = P_B - P_A$  чи витрати  $Q_5$  показані на рис. 2 і 3. Якщо вхідний гідравлічний опір вторинного перетворювача чи приладу  $R_n = \infty$ , то вихідним сигналом в кожній із цих схем є  $\Delta P$ , якщо  $R_n = 0$ , то вихідним сигналом є витрата  $Q_5$ , а при  $0 < R_n < \infty$  –  $\Delta P$  чи  $Q_5$ . На рис. 2 та 3, як і на подальших рисунках, використані позначення згідно з [6].

На рис. 2, а б, в показані схеми вимірювальних перетворювачів параметра  $X$ , що визначає комплекси  $B_k$ ,  $B_n$  і  $B_e$  в трьох різних режимах живлення: стабілізація тисків  $P_{6x}$  і  $P_{6ux}$ , стабілізація витрати  $Q_M$  і тиску  $P_{6x}$  а також стабілізація витрати  $Q_M$  і абсолютного тиску  $P_{6ux}$ , відповідно. Робочим середовищем цих вимірювальних перетворювачів є середовище, параметри якого вимірюються, або будь-яке інертне середовище – при вимірюванні параметрів дросельних елементів. Для нестискуваних рідин можливі також інші режими живлення, зокрема: стабілізація або перепад тиску на мості  $\Delta P$  або витрати  $Q_M$ .

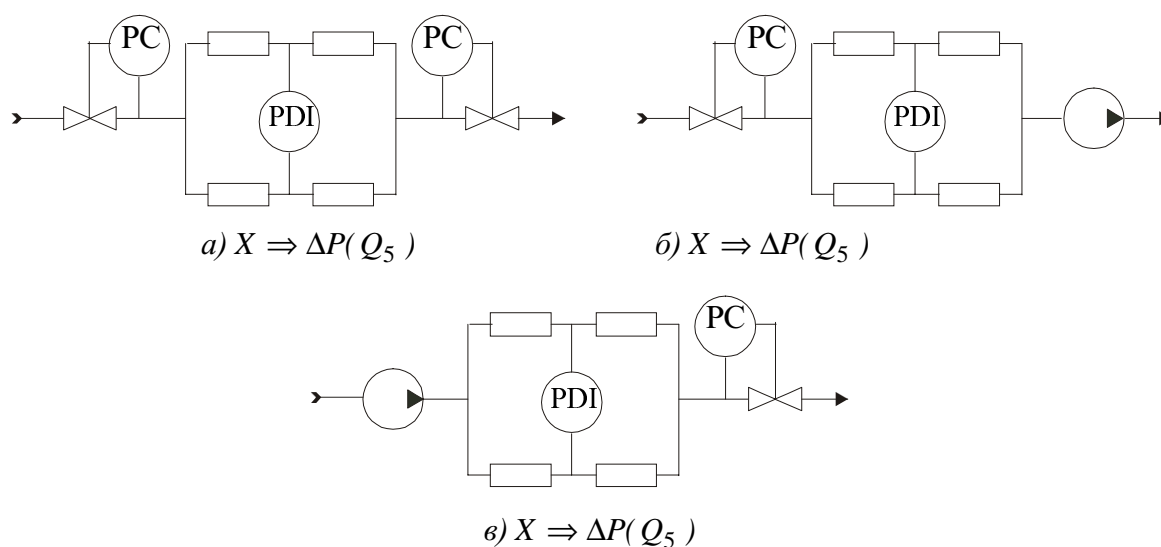


Рис. 2 Побудова вимірювальних перетворювачів параметра  $X$  за мостовою дросельною схемою

На рис. 3, а і б показані схеми вимірювальних перетворювачів витрати. В першому перетворювачі відповідно до викладених вище вимог здійснена стабілізація тиску  $P_{6ux}$ , а в другому – стабілізація тиску  $P_{6x}$ . Для перетворення витрати нестискуваних середовищ можна обійтись і без стабілізації  $P_{6x}$  і  $P_{6ux}$ . Схема такого перетворювача показана на рис. 3, в. Аналогічно можна побудувати схеми вимірювальних перетворювачів для стискуваних і нестискуваних рідин із будь-яким іншим вихідним сигналом та режимом живлення, вказаним вище.

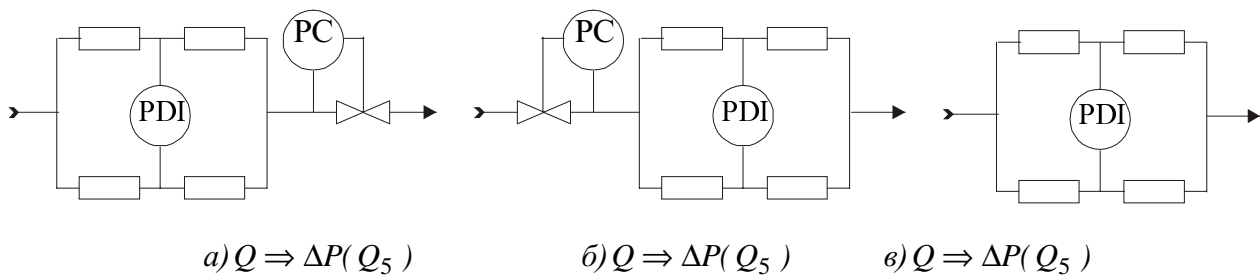


Рис. 3 Побудова вимірювальних перетворювачів витрати  $Q$  за мостовою дросельною схемою

Варто також звернути увагу на варіанти побудови вимірювальних перетворювачів на базі мостової дросельної схеми, коли в її діагональ включений задавач сталої витрати, за допомогою якого здійснюється задання певного значення витрати  $Q_5$ . В такому випадку, як це впливає із (1), вимоги до стабілізації величин в схемах перетворювачів залишаються незмінними, а, отже, і схеми побудови вимірювальних перетворювачів відповідають схемам, показаним на рис. 2 і 3.

Додаткові можливості при побудові вимірювальних перетворювачів на базі мостової дросельної схеми відкриваються при введенні в цю схему зворотних зв'язків. За допомогою таких зв'язків можна здійснити стабілізацію таких величин, як  $\Delta P = P_B - P_A$  чи  $Q_5$ , наприклад, на рівні  $\Delta P = 0$  чи  $Q_5 = 0$ , і відповідно реалізувати зовсім інші режими живлення перетворювача. Переважно, для того, щоб нова схема із зворотними зв'язками також описувалась системою (1), необхідно вказану вище стабілізацію  $\Delta P$  чи  $Q_5$  здійснювати шляхом зміни інших величин, що входять до (1), наприклад,  $P_{ex}$ ,  $P_{вих}$  чи  $Q_M$ . В цьому випадку визначений раніше перелік вхідних і вихідних величин вимірювальних перетворювачів і вимоги до їх побудови, наприклад, стабілізація решти величин, що входять в (1), залишаються незмінними.

Із врахуванням вищесказаного для вимірювальних перетворювачів параметра  $X$  визначаються такі режими живлення:

- а) стабілізація перепаду  $\Delta P$  (чи витрати  $Q_5$ ) і абсолютного тиску  $P_{вих}$ ;
- б) стабілізація перепаду  $\Delta P$  (чи витрати  $Q_5$ ) і абсолютного тиску  $P_{ex}$ ;
- в) стабілізація перепаду  $\Delta P$  (чи витрати  $Q_5$ ) і витрати  $Q_M$ .

Для нестискуваних рідин вищевказані перетворювачі можуть працювати і в режимі стабілізації лише одного перепаду  $\Delta P$  (чи витрати  $Q_5$ ). Стабілізація всіх решта вказаних величин може виконуватись автоматично за допомогою відповідних автоматичних регуляторів.

Нижче розглянуто варіанти схем побудови вимірювальних перетворювачів параметра  $X$  із описаним вище першим режимом живлення, а саме – стабілізація перепаду  $\Delta P$  (чи витрати  $Q_5$ ) і абсолютного тиску  $P_{вих}$  (рис. 4, а, б). Перепад тиску  $\Delta P$  тут регулюється автоматично регулятором шляхом зміни тиску  $P_{ex}$ . В першому перетворювачі вихідним сигналом є  $P_{ex}$  чи перепад  $\Delta P$ , а в другому – витрата  $Q_M$ . За аналогічним режимом живлення виконані також перетворювачі на рис. 4, в, г. Обидва ці перетворювачі відрізняються від перших лише тим, що перепад тиску  $\Delta P$  тут регулюється шляхом зміни





Варто зазначити, що розмаїття схем побудови розглянутих вимірювальних перетворювачів і, зокрема велике розмаїття дросельних елементів із можливою при цьому різною комбінацією їх включення в мостову дросельну схему, визначає переважно, і велике розмаїття властивостей таких перетворювачів. Крім того, властивості і характеристики таких перетворювачів істотно залежать також і від конструктивних характеристик дроселів. При цьому ця залежність настільки сильна, що на базі мостової дросельної схеми можна створювати пристрої цілком інваріантні до тих чи інших параметрів середовища, чи навпаки, вимірювальні пристрої, що характеризуються дуже високою чутливістю до тих чи інших параметрів середовища.

Із врахуванням вищесказаного при побудові таких вимірювальних перетворювачів в більшості випадків потрібно застосовувати структурно-параметричний метод: для заданих цілей вимірювання вибрати оптимальну схему вимірювання, а потім вибрати і розрахувати дросельні елементи з такими конструктивними параметрами, при яких досягатиметься максимальне значення необхідних характеристик перетворювача.

### **Висновки**

У цій роботі отримано та проаналізовано математичну модель мостової дросельної вимірювальної схеми. На базі аналізу отриманої моделі наведено варіанти побудови схем газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на мостових дросельних схемах при різних режимах роботи. Показано, що на основі мостових дросельних схем можна будувати вимірювальні перетворювачі із цілком новими властивостями та характеристиками, причому функціональні можливості вказаних перетворювачів розширюються, завдяки великому розмаїттю дросельних елементів та можливою різною комбінацією їх включення в мостову дросельну схему.

*1. Залманзон Л. А. Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем. – М., 1973. 2. Пістун Є.П., Леськів Г.Ф. Газогідродинамічні вимірювальні перетворювачі на складених дросельних елементах / Вісн. НУ“ЛП” “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”. – 2002. – №460. – С. 81 – 88. 3. Пістун Є.П., Леськів Г.Ф. Математичний опис структур побудови схем вимірювальних перетворювачів: Міжвідомчий наук.-техн. зб. “Вимірювальна техніка та метрологія”. – 2002. – Вип. 61. – С. 87 – 92. 4. Пістун Є.П., Леськів Г.Ф. Побудова та моделювання газогідродинамічних вимірювальних схем на двох дросельних елементах // Методи та прилади контролю якості. – 2002. – №9. – С.35 – 38. 5. Пістун Е.П., Теплюх З.Н., Стасюк И.Д. Расходные характеристики газодинамических дросельных элементов. В кн.: Пневматические и гидравлические устройства и системы управления: X Международная конференция “Яблонна”. – М., 1986. – С. 31 – 34. 6. ДСТУ Б А.2.4-3-95Б. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів. – К., 1997.*