

МЕТОДИ ТА ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 681.5.017

ПОБУДОВА ТА МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗОГІДРОДИНАМІЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СХЕМ НА ДВОХ ДРОСЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

© Пістун Є. П., Леськів Г. Ф., 2002

Національний університет "Львівська політехніка"

Наведено принципи побудови та моделювання газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на схемах з двома дросельними елементами. Приведені узагальнені моделі та схеми таких вимірювальних перетворювачів.

Газогідродинамічні дросельні вимірювальні перетворювачі фізико-механічних параметрів речовин будуються на дросельних елементах, а саме – пристроях звуження чи трубках різноманітної конфігурації і форми (циліндричні трубки, тонкі діафрагми з отвором, сопла, годинникові камені тощо) [1]. Ці дросельні елементи певним чином з'єднуються у відповідну дросельну вимірювальну схему. Кількість дросельних елементів в такій вимірювальній схемі не обмежується.

При побудові конкретного вимірювального перетворювача необхідно проаналізувати та порівняти можливості і характеристики різних дросельних вимірювальних схем, оскільки як функціональні можливості, так і метрологічні характеристики кожного перетворювача визначаються різноманітними факторами та умовами. Так, наприклад, необхідно враховувати кількість дросельних елементів перетворювача, кількість та вид рідини, що протікає через дросельні елементи, режим живлення та умови роботи перетворювача, тип вихідного сигналу перетворювача, яким може бути чи тиск, чи перепад тиску, чи витрата та інші. Зрозуміло, що аналіз вищевказаних факторів, які можуть набувати різних значень та зустрічатись в різноманітних комбінаціях, є досить складною задачею. Таку задачу запропоновано вирішувати шляхом математичного моделювання вказаних дросельних вимірювальних схем і перетворювачів [2].

Найбільш простий вимірювальний перетворювач будується на одному дросельному елементі [2]. Математична модель такого перетворювача відповідає рівнянню витратної характеристики дросельного елемента, застосованого в схемі. Витратна характеристика дросельного елемента показує зв'язок витрати середовища, що протікає через елемент, з тиском до і після елемента, з його конструктивними характеристиками і параметрами середовища. Мо-

делі окремих дросельних елементів є відомі [3, 4]. Так, наприклад, для дроселя типу отвору в тонкій стінці (діафрагма) при турбулентному русі нестискуваної рідини витратна характеристика має наступний вигляд:

$$Q = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot (P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}})} \cdot \rho, \quad (1)$$

де Q – масова витрата рідини через дросель; $P_{\text{вх}}$ і $P_{\text{вих}}$ – абсолютні тиски рідини відповідно на вході і на виході дроселя; ρ – густина середовища; d – діаметр отвору діафрагми; α – емпіричний коефіцієнт витрати дроселя. Очевидно, кожен тип дросельного елемента має власну витратну характеристику.

Але, незважаючи на велику різноманітність дросельних елементів і варіантів схем побудови вимірювальних перетворювачів на одному дроселі, при розробці перетворювача конкретного технологічного параметру іноді неможливо підібрати дросельний елемент з необхідною витратною характеристикою та забезпечити необхідні функціональні та метрологічні характеристики перетворювача. Тому для отримання необхідних витратних характеристик дросельних елементів, а відповідно – розширення можливостей при побудові газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів технологічних параметрів, запропоновано будувати такі перетворювачі на складених дросельних елементах (побудованих із декількох окремих дроселів), тобто на елементах другого, третього і вищого порядку [2].

Найпростішими складеними дросельними елементами є дроселі другого порядку, що складаються із двох дроселів. При утворенні дроселів другого порядку можливе як послідовне, так і паралельне з'єднання дросельних елементів. Математичний опис структури таких дроселів, здійснений із застосуванням теорії множин, наведено в [2]. Отримані залежності дають можливість визначити всі можливі

варіанти побудови схем дроселів другого порядку при будь-якій кількості вихідних, тобто первинних дроселів.

Математична модель складеного дроселя другого порядку відповідає його витратній характеристиці. Витратні характеристики дроселів другого порядку, утворених послідовним з'єднанням дросельних елементів, знаходять із системи рівнянь:

$$\begin{cases} Q_{II} = Q_1 = Q_2; \\ Q_1 = f_1(P_{ax}, P_a, B_{\kappa_1}, B_n, B_{e1}); \\ Q_2 = f_2(P_a, P_{вих}, B_{\kappa_2}, B_n, B_{e2}), \end{cases} \quad (2)$$

де Q_{II} – масова витрата рідини через дросель другого порядку; Q – масова витрата рідини через дросель; P_{ax} і $P_{вих}$ – абсолютні тиски рідини відповідно на вході і на виході дроселя другого порядку; B_{κ} , B_n і B_e – відповідно комплекси, що визначаються конструкцією дроселя, параметрами рідини, що протікає через дросель, та емпіричними коефіцієнтами, які враховують реальність рідини і термодинамічних процесів її протікання в дросельному елементі (так, наприклад, для витратної характеристики дроселя типу діафрагма при турбулентному русі нестискуваної рідини, що описується рівнянням (2), вказані комплекси мають вигляд: $B_{\kappa} = d^2$; $B_n = \sqrt{\rho}$; $B_e = \alpha$); P_a – міждросельний тиск, а індекси 1 і 2 відносять змінні в рівняннях (2) відповідно до першого і другого по ходу руху середовища дросельного елемента.

Для більшості типів дросельних елементів систему (2) можна розв'язати аналітично.

Для дроселів другого порядку, утворених паралельним з'єднанням дросельних елементів, витратна характеристика визначається із наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} Q_{II} = Q_1 + Q_2; \\ Q_1 = f_1(P_{ax}, P_{вих}, B_{\kappa_1}, B_n, B_{e1}); \\ Q_2 = f_2(P_{ax}, P_{вих}, B_{\kappa_2}, B_n, B_{e2}). \end{cases} \quad (3)$$

Тут індекси 1 і 2 відносять змінні відповідно до верхнього і нижнього дроселя.

В загальному вигляді витратну характеристику дроселя другого порядку, яку отримуємо із (2) та (3), можна записати, як:

$$Q_{II} = f(P_{ax}, P_{вих}, B_n, B_{\kappa_1}, B_{\kappa_2}, B_{e1}, B_{e2}). \quad (4)$$

В [2] наведено також принципи побудови складених дроселів будь-якого вищого порядку. Для прикладу, витратна характеристика складеного дроселя S -го порядку в загальному випадку буде мати вигляд:

$$Q_S = f(P_{ax}, P_{вих}, B_n, B_{\kappa_1}, B_{\kappa_2}, \dots, B_{\kappa_s}, B_{e_1}, B_{e_2}, \dots, B_{e_s}). \quad (5)$$

Можливості і характеристики вимірювальних перетворювачів, побудованих на таких складених

дросельних елементах за схемою одного елемента, розглянуті в [2].

Крім побудови вимірювальних перетворювачів на одному дросельному елементі, зокрема і на складеному дросельному елементі, можливі варіанти побудови таких схем вимірювальних перетворювачів на декількох дроселях, кожен з яких теж міг би бути складеним. Нижче наведено вимірювальні схеми на двох дросельних елементах. Модель такої схеми при послідовному з'єднанні дросельних елементів буде мати вигляд:

$$\begin{cases} Q_{BC} = Q_{S1} = Q_{P2}; \\ Q_{1S} = f_1(P_{BX}, P_A, B_{\kappa_{11}}, B_{\kappa_{12}}, \dots, B_{\kappa_{1s}}, B_n, B_{e_{11}}, B_{e_{12}}, \dots, B_{e_{1s}}); \\ Q_{2P} = f_2(P_A, P_{BHX}, B_{\kappa_{21}}, B_{\kappa_{22}}, \dots, B_{\kappa_{2p}}, B_n, B_{e_{21}}, B_{e_{22}}, \dots, B_{e_{2p}}), \end{cases} \quad (6)$$

де Q_{BC} – масова витрата рідини через вимірювальну схему; Q_{1S}, Q_{2P} – масова витрата рідини через 1-й і 2-й складений дросель відповідно S -го і P -го порядків; P_{BX} і P_{BHX} – абсолютні тиски рідини відповідно на вході і на виході вимірювальної схеми; P_A – міждросельний тиск, а індекси 1 і 2 (що стоять на першому місці) відносять змінні в рівняннях (6) відповідно до першого і другого по ходу руху середовища складеного дроселя, кожен з яких в свою чергу складається із дроселів, позначених індексом на другому місці, що змінюється від 1 до S і від 1 до P , відповідно. Слід зазначити, що якщо в такій схемі застосувати не складені, а прості дроселі, то модель (6) відповідатиме моделі (2).

Аналіз системи рівнянь (6) показує, що будь-яка змінна системи, крім тиску P_A , може бути вхідною величиною вимірювального перетворювача. Вихідною величиною перетворювача може служити або Q_{BC} , або P_{BX} , або P_{BHX} , або P_A .

Схеми побудови вимірювальних перетворювачів з вихідною величиною – міждросельним тиском P_A показані на рис. 1 (на рисунках застосовано позначення згідно з [5]). У наведених схемах застосовано основний принцип побудови перетворювачів: вимога стабілізації всіх решти величин, крім вхідної і вихідної, що входять в систему (6), за винятком однієї з величин Q_{BC} , P_{BX} , або P_{BHX} .

Для вимірювання будь-якого із параметрів X , що впливають на комплекси B_n , B_{κ_i} і B_{e_i} , перетворювач будується за схемою a , b або $в$ (рис. 1). За такими ж схемами виконуються перетворювачі фізико-механічних параметрів середовищ, які протікають через дросель (в'язкості, густини, показника адиабати, концентрації чи складу середовища, температури), конструктивних характеристик дросельних елементів (діаметра чи довжини дроселя), ряду емпіричних коефіцієнтів (коефіцієнт витрати дроселя) тощо. Характеристики таких перетворювачів

розраховуються відповідно до моделі (6).

Із трьох розглянутих схем найбільш цікавою є схема на рис. 1а. Перетворювач за такою схемою легко реалізується, а порівняно із аналогічною схемою перетворювача на одному дросельному елементі [2] не вимагає вимірювання витрати середовища. Крім того, вимірювання тиску P_A може бути замінено на вимірювання перепаду тиску на одному із дроселів. Ця схема може також застосовуватись в інших більш складних дросельних вимірювальних схемах – диференційних і мостових. Основною ж її перевагою порівняно із раніше розглянутими є її більш широкі можливості в плані побудови перетворювачів вказаних параметрів з необхідними характеристиками.

Дві інші схеми перетворювача параметра X (рис. 1б і рис. 1в) за функціональними можливостями аналогічні до схем, побудованих на одному дроселі [2]. Це пояснюється тим, що при фіксованій витраті Q_{BC} і одному із тисків живлення P_{BX} або P_{BIX} властивості першого дроселя в першій схемі і другого дроселя в другій схемі на властивості перетворювача не впливають.

Все вищевказане стосується також і вимірювального перетворювача витрати (рис. 1г). Особливістю цієї схеми є те, що в ролі першого дроселя, що безпосередньо впливає на тиск P_A , може бути застосований усереднювач потоку, який покращує роботу другого дроселя.

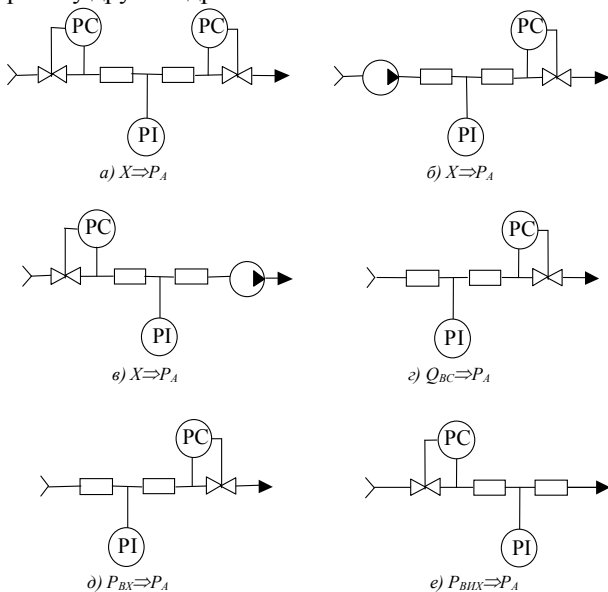


Рис. 1. Побудова вимірювальних перетворювачів параметра X (а...в), витрати Q_{BC} (г) а також тисків P_{BX} (д) та P_{BIX} (е) на двох дросельних елементах

Із вимірювальних перетворювачів тиску, показаних на рис. 1д та рис. 1е, більший інтерес представляє собою другий перетворювач, оскільки з його допомогою можна здійснювати вимірювання тиску забруднених чи навіть агресивних середовищ без використання спеціальних розділюючих пристроїв, які значно спотворюють вимірювану величину і, як правило, не зовсім надійних. Вимірювальний тиск $P_x = P_{BIX}$ даною схемою якби відтворюється між дросельним тиском P_A .

Особливо цікавою, переважно для вимірювання параметрів нестискуваних рідин, є схема вимірювального перетворювача, показана на рис. 2а. В даній схемі між дросельними елементами розміщено мікропомпу, за допомогою якої речовина відбирається із загальної технологічної нитки і пропускається через дросельні елементи. За допомогою такої схеми можна реалізувати, наприклад, вимірювання абсолютної в'язкості. Схема описується наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} Q_1 = f_1(P_0, P_1, B_n, B_{\kappa_{11}}, \dots, B_{\kappa_{1S}}, B_{e_{11}}, \dots, B_{e_{1S}}); \\ Q_2 = f_2(P_2, P_0, B_n, B_{\kappa_{21}}, \dots, B_{\kappa_{2P}}, B_{e_{21}}, \dots, B_{e_{2P}}); \\ \Delta P = P_2 - P_1. \end{cases} \quad (7)$$

де, крім відомих, позначення тисків у відповідності до схеми.

Вимірювальні перетворювачі можуть бути побудовані також на схемах із паралельним включенням двох окремих дроселів згідно із системою рівнянь (3). На таких схемах можуть бути побудовані вимірювальні перетворювачі параметра X (див. рис. 2б та рис. 2в).

В першій схемі завдяки застосуванню двох задавачів витрати можна через кожен окремий дросель пропускати різні середовища (на рисунку показано варіант схеми з одним середовищем). В зв'язку з цим, а також враховуючи можливість застосування складених дроселів, такий перетворювач описується системою

$$\begin{cases} Q_1 = f_1(P_{BX_1}, P_{BIX}, B_{n_1}, B_{\kappa_{11}}, \dots, B_{\kappa_{1S}}, B_{e_{11}}, \dots, B_{e_{1S}}); \\ Q_2 = f_2(P_{BX_2}, P_{BIX}, B_{n_2}, B_{\kappa_{21}}, \dots, B_{\kappa_{2P}}, B_{e_{21}}, \dots, B_{e_{2P}}); \\ \Delta P = P_{BX_1} - P_{BX_2}, \end{cases} \quad (8)$$

де Q_1 - витратна характеристика верхнього складеного дроселя S -го порядку; Q_2 - витратна характеристика нижнього складеного дроселя P -го порядку. Якщо через обидва дроселі протікає одне середовище, то в системі (8) $B_{n_1} = B_{n_2} = B_n$.

В другій схемі на лінії кожного дроселя встановлено витратоміри з нульовим гідравлічним опором. Із врахуванням застосування складених дроселів перетворювач, побудований за такою схемою, описується аналогічно до (8) наступною системою

рівнянь:

$$\begin{cases} Q_1 = f_1(P_{BX}, P_{ВНХ}, B_n, B_{k_{11}}, \dots, B_{k_{1S}}, B_{e_{11}}, \dots, B_{e_{1S}}); \\ Q_2 = f_2(P_{BX}, P_{ВНХ}, B_n, B_{k_{21}}, \dots, B_{k_{2P}}, B_{e_{21}}, \dots, B_{e_{2P}}); \\ \Delta Q = Q_1 - Q_2. \end{cases} \quad (9)$$

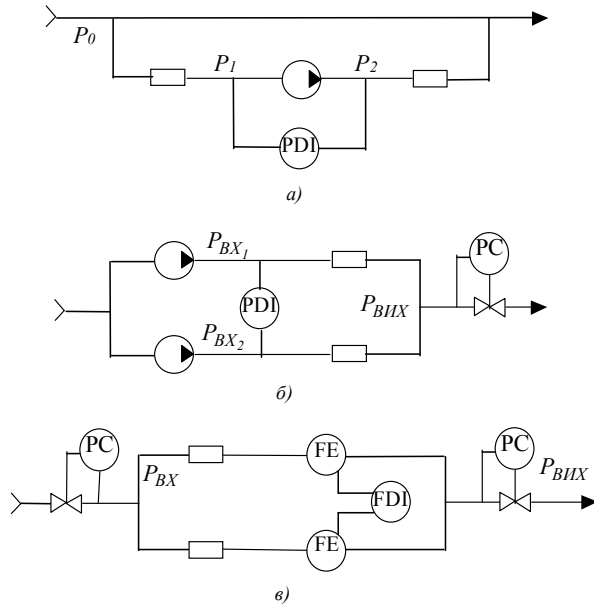


Рис. 2. Побудова вимірювальних перетворювачів параметра X на двох дроселях

Всі розглянуті вимірювальні перетворювачі є перетворювачами прямої дії. За схемами з двома дросельними елементами можна будувати також перетворювачі із зворотними зв'язками, в результаті чого здійснюється регулювання певної величини, яка може бути змінною в моделі перетворювача, шляхом цілеспрямованої зміни іншої такої ж величини. Такі перетворювачі мають вже інші характеристики і властивості. Так, наприклад, якщо в схемі на рис. 2в, що описується моделлю (9), шляхом зміни вхідного тиску P_{BX} підтримувати рівність витрат Q_1 і Q_2 , тобто $\Delta Q = Q_1 - Q_2 = 0$, то застосувавши в ролі першого дроселя – ламінарний дросель, а в ролі другого – турбулентний, отримуємо перетворювач кінематичної в'язкості ν з вихідним сигналом Q_1 чи Q_2 (див. рис. 3).

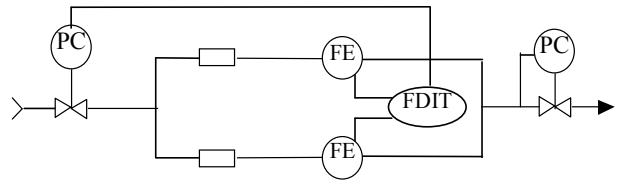


Рис. 3. Вимірювальний перетворювач кінематичної в'язкості ν

Для будь-якої із схем, наведених на рис.1-3, характеристики перетворювача визначаються типом і властивостями застосованих в них дросельних елементів. Для розрахунку цих характеристик використовують залежно від схеми побудови перетворювача моделі (2), (3), (6), (7), (8) чи (9). Розмаїття дросельних елементів, що входять у всі розглянуті вище схеми, забезпечує і велику різноманітність вимірювальних перетворювачів, що будуються на двох окремих дроселях.

Таким чином, в даній роботі нами застосовано нові підходи щодо опису та моделювання схем газогідродинамічних вимірювальних перетворювачів на двох дросельних елементах, проаналізовано основні варіанти вимірювальних схем при паралельному та послідовному з'єднанні дроселів. Такі підходи дозволяють моделювати та розраховувати характеристики вимірювальних перетворювачів, що будуються на вказаних схемах.

1. Залманзон Л. А. *Аэрогидродинамические методы измерения входных параметров автоматических систем.* – М.: Наука, 1973. – 464 с.
2. Пістун Є. П., Леськів Г. Ф. *Газогідродинамічні вимірювальні перетворювачі на складених дросельних елементах.* – У Віснику НУ“ЛП” “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”, Львів: Вид-во НУ “ЛП”. – 2002. – № 460. – С. 81-88.
3. Пістун Є. П., Теплох З. Н., Стасюк І. Д. *Расходные характеристики газодинамических дросельных элементов.* – В кн.: *Пневматические и гидравлические устройства и системы управления. X Международная конференция “Яблонна”.* – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 31-34.
4. Богачева А. В. *Пневматические элементы систем автоматического управления.* – М.: Машиностроение, 1966. – 240 с.
5. ДСТУ Б А.2.4-3-95Б. *Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.* – Київ, 1997.