

Фур'є ( $K_{H_2}$ ) [2]. Для визначення віддалі між вимірними перетворювачами використана формула (18), для якої частота зрізу спектра функції визначається із значення спектральної щільності розподілу магнітного поля ( $f_s = 1.569$ ). У таблиці показані значення віддалі між вимірними точками дослідної посудини, при заданих значеннях середньоквадратичної похибки вимірювання магнітного поля та різних  $n$  (видах інтерполяції).

**Значення віддалі між вимірними точками дослідної посудини**

№	Вид інтерполяції	$n$	$\sigma_v$	$h$ (см)
1.	Лінійна	1	0.1	0.76
			0.2	1.08
2.	Квадратична	2	0.1	1.388
			0.2	1.749

#### Висновки.

1. Запропонована методика визначення віддалі між вимірними перетворювачами при побудові систем

управління намагнічування ВДС. Ця віддаль визначається за умови заданого значення середньоквадратичної похибки, прийнятого виду інтерполяції і за статистичними характеристиками магнітного поля.

2. Описана методика може знайти застосування там, де вимірний параметр (температура, тиск тощо) розподілений в просторі.

1. Миненко В.И. Магнитная обработка водно-дисперсных систем. – К., 1970. 2. Бабак В.П., Хащецький В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів. К., 1996. 3. Буняк А.М. Метод кореляційного аналізу для контролю розподілених у просторі параметрів. – К., – №4, 1975. – С. 21-23. 4. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). // Г.Корн, Т.Корн. – М., 1973. 5. Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. Оптимальное управление. – М., 1979. 6. Ицкович Э.Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. – М., 1975. 7. Буняк А.М., Коноваленко І.В. Розробка обчислювального комплексу для контролю за процесом відстоювання промислових напівпродуктів / Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. 1996. – № 2. – С. 114-116.

УДК 681.121.84

## РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ЗА МЕТОДОМ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

© Євген Пістун, Роман Дубіль, Федір Матіко, 2001

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Автоматизація теплових та хімічних процесів", вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Розглянуто існуючі методи розширення діапазону вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску. Запропоновано нові підходи щодо розширення діапазону вимірювання у витратомірних системах та їх реалізації на базі мікропроцесорних обчислювачів.*

*Рассмотрены существующие методы расширения диапазона измерения расхода методом переменного перепада давления. Предложены новые подходы к расширению диапазона измерения в расходоизмерительных системах и их реализации на базе микропроцессорных вычислителей.*

*The article contains the analysis of existing methods of widening the range of the flow rate measurement using method of alternating pressure differential. The new method of widening the range of the flow rate measurement is proposed for flow-measuring microprocessor-based systems.*

Одним із основних недоліків методу змінного перепаду тиску є вузький діапазон вимірювання витрати. Для його розширення використовувались пристрої звуження потоку зі змінною площею отвору та багатодіапазонні витратомірні установки [1, 2], схеми яких показані на рис. 1.

Застосування пристроїв звуження потоку із змінною площею отвору вимагає введення в потік рухомих елементів та градування таких пристроїв. Необхідність градування пристрою звуження потоку ліквідує одну із основних переваг методу змінного перепаду тиску – можливість застосування без інди-

відуального градування та визначення загальної похибки вимірювання витрати без атестації всієї вимірювальної системи. Внаслідок цього застосовуються такі пристрої звуження тільки в окремих спеціальних випадках.

Більш поширені витратомірні схеми, показані на рис. 1.

Схема *а* передбачає застосування двох дифманометрів, що вимірюють перепад тиску на одному пристрої звуження. Згідно з [1] граничний перепад тиску  $\Delta p_2$  другого дифманометра рекомендується вибирати таким, що дорівнює 0.09 від граничного перепаду першого  $\Delta p_1$  (відносна похибка вимірювання перепаду тиску не перевищуватиме  $11 \cdot S$ , де  $S$  – клас точності дифманометра). За такого значення відносної похибки вимірювання  $\Delta p$  діапазон вимірювання перепаду тиску становитиме  $\Delta p_{\max} : \Delta p_{\min} = 123:1$ , а діапазон вимірювання витрати –  $Q_{\max} : Q_{\min} = 11:1$  (при постійному тиску та температурі потоку).

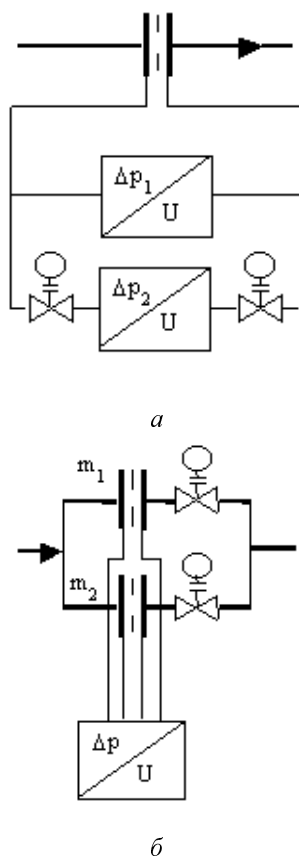


Рис. 1. Схеми реалізації способів розширення діапазону вимірювання витрати за методом змінного перепаду тиску

Схема *б* побудована на основі двох пристроїв звуження з різними діаметрами отвору, тобто з різними значеннями  $m$  відносної площі пристрою звуження, імпульсні лінії від яких підведені до одного дифманометра.

Обидві розглянуті схеми вимагають певних конструктивних ускладнень: запірної арматури для під'єднання імпульсних ліній дифманометра 2 (схема *а*), розгалуження робочого трубопроводу та запірної арматури для перенаправлення вимірюваного потоку до одного з пристроїв звуження (схема *б*).

Сьогодні завдяки розвитку та вдосконаленню вимірювальних перетворювачів перепаду тиску, тиску та температури, а саме завдяки їх інтелектуалізації та істотному покращанню класу точності вимірювання, з'явилася можливість по-новому вирішувати завдання розширення діапазону вимірювання витрати. Так, застосування власне таких інтелектуальних та високоточних диференційних манометрів [3, 4] дає змогу розширити діапазон вимірювання перепаду тиску, а, відповідно, і витрати без використання багатодіапазонних конструктивно складних вимірювальних схем.

Зокрема, диференційні манометри, що пропонуються відомими світовими виробниками контрольно-вимірювальних приладів (Fisher-Rosemount, Hartmann & Braun і ін.), забезпечують можливість перенастроювання верхньої границі  $\Delta p_{\text{ВГ}}$  діапазону вимірювань від 1% до 100% максимального значення діапазону вимірювань  $\Delta p_{\max}$  (див. рис. 2) при збереженні лінійності шкали. Для моделей дифманометрів з найширшим діапазоном перенастроювання діапазону вимірювань (1:100) виробниками дається така інформація щодо похибки вимірювання [3]:

для діапазонів вимірювань, для яких  $\Delta p_{\text{ВГ}} : \Delta p_{\max} \geq 1:10$ , похибка не перевищує

$$S = \pm 0.075 \% \text{ верхньої границі } \Delta p_{\text{ВГ}} \text{ діапазону вимірювань; } \quad (1)$$

для діапазонів вимірювань, для яких  $\Delta p_{\text{ВГ}} : \Delta p_{\max} \leq 1:10$ , похибка обчислюється за формулою

$$S = \left[ 0.025 + 0.005 \cdot \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p_{\text{ВГ}}} \right] \% \quad (2)$$

Оскільки похибка виробників наведена у відсотках відносно шкали, тобто встановленого діапазону вимірювань, то очевидно, йдеться про відносну приведену похибку, тобто клас точності приладу. Для діапазонів вимірювань з  $\Delta p_{BG} : \Delta p_{max} \leq 1:10$  відносна приведена похибка, як видно з (2), буде швидко зростати при зменшенні  $\Delta p_{BG}$ . Наприклад, при роботі дифманометра у встановленому діапазоні вимірювань від 0 до 5 % від  $\Delta p_{max}$  відносна приведена похибка (клас точності приладу) буде становити  $S=0.125\%$ , а в діапазоні вимірювань (0 ... 1) %  $\Delta p_{max}$  –  $S=0.525\%$  (див. крива IV на рис. 2, б).

Значення відносної похибки вимірювання перепаду тиску таким дифманометром обчислюється як:

$$\delta = \frac{\Delta p_{BG}}{\Delta p} S, \quad (3)$$

де S, залежно від діапазону вимірювання, знаходять згідно з (1) і (2).

Під час роботи дифманометра в діапазоні вимірювань 100 %  $\Delta p_{max}$  значення відносної похибки  $\delta$  вимірювання перепаду тиску зростає при “підході” до початку шкали за гіперболічною залежністю (див. крива III.1 на рис. 2, б). Наприклад, при вимірюванні перепаду тиску  $\Delta p=2\%$  від  $\Delta p_{max}$  дифманометром з класом 0.075 відносна похибка  $\delta$  становить 3.8%. Діапазон вимірювання витрати  $Q_{max} : Q_{min} = 7:1$ . При вимірюванні  $\Delta p=1\%$  від  $\Delta p_{max}$  відносна похибка становитиме вже  $\delta=7.5\%$ .

Потрібно зауважити, що всі наведені вище розрахунки виконані без врахування похибок дифманометра за рахунок зміни температури, статичного тиску (щодо тиску та температури калібрування), нестабільності джерела живлення та похибки зміни в часі статичної характеристики. Тому реальні значення похибок вимірювання перепаду тиску можуть бути більшими залежно від умов експлуатації приладів.

Як видно з аналізу, істотне розширення діапазону вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску не може бути досягнуто тільки підвищенням класу точності дифманометра при одному діапазоні вимірювання.

Ми пропонуємо розширювати діапазон вимірювання витрати в системах, побудованих на базі програмованих мікропроцесорних обчислювачів витрати та кількості, за допомогою алгоритмів розподілу повного

діапазону вимірювання  $\Delta p_{max}$  на піддіапазони  $\Delta p_{BG_i}$  з встановленням класу точності кожного піддіапазону відповідно до (1) і (2). Правомірність такого підходу гарантується виробниками дифманометрів, які на базі статистичних досліджень обґрунтували можливість застосування залежностей (1) і (2) для встановлення класу точності вимірювальних перетворювачів за умови їх роботи на довільному піддіапазоні при збереженні лінійності шкали. Нами пропонується також один із способів визначення меж піддіапазонів вимірювального перетворювача, який дає змогу забезпечити задане значення відносної похибки вимірювання.

Оскільки перенастроювання шкали перетворювача полягає в зміні коефіцієнта, який задає нахил прямої, що апроксимує дійсну статичну характеристику (крива II на рис. 2, а) в певному піддіапазоні, то нами пропонується змінювати коефіцієнт нахилу статичної характеристики алгоритмічно, в програмі обчислювача.

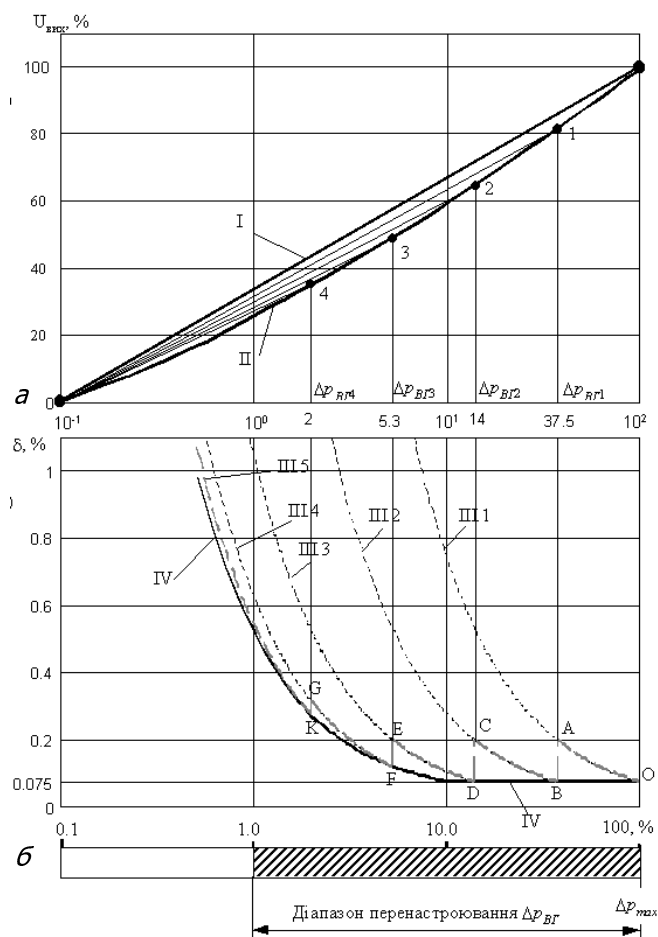


Рис. 2. а – поділ статичної характеристики перетворювача на піддіапазони; б – графіки зміни класу точності перетворювача (крива IV) та відносної похибки вимірювання перепаду тиску (криві III)

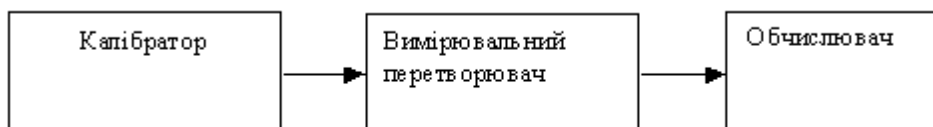


Рис. 3. Схема настроювання піддіапазонів статичної характеристики вимірювального перетворювача

Перший діапазон вимірювального перетворювача може відповідати максимальному діапазону вимірювання, зазначеному в паспорті перетворювача.

Для реалізації запропонованого способу потрібно виконати такі операції:

1) встановити максимально можливий діапазон вимірювань приладу  $\Delta p_{\max}$  (на цьому діапазоні вимірювальний перетворювач працюватиме за статичною характеристикою I (див. рис. 2, а));

2) за допомогою калібратора отримати його дійсну статичну характеристику (крива II на рис. 2, а);

3) розділити дійсну статичну характеристику на піддіапазони, межі яких визначаються заданою верхньою межею відносної похибки  $\delta$  та зафіксувати як зразкові значення верхніх меж піддіапазонів  $\Delta p_{\text{ВГ}1}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}2}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}3}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}4}$ ;

4) ввести значення  $\Delta p_{\text{ВГ}1}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}2}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}3}$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}4}$  в програму обчислювача, яка визначає коефіцієнт передачі кожного піддіапазону та заносить знайдені коефіцієнти в пам'ять.

Піддіапазони можна настроювати за схемою, показаною на рис. 3.

Подаємо з калібратора на вхід дифманометра різницю тисків, що відповідає кінцю  $i$ -го піддіапазону. Вводимо в обчислювач зразкове значення  $\Delta p_{\text{ВГ}i}$ . За введеним в обчислювач зразковим значенням перепаду тиску та значенням, що подається в обчислювач від перетворювача, обчислювач знаходить коефіцієнт передачі, що відповідає даному піддіапазону та заносить його в пам'ять. Ця процедура виконується для кожного  $i$ -го піддіапазону. Під час роботи обчислювача у вимірювальній системі для визначення дійсного значення перепаду тиску буде використовуватись коефіцієнт, що відповідає активному піддіапазону вимірювання.

На рис. 2 показано приклад розподілу статичної характеристики дифманометра на піддіапазони з умови забезпечення вимірювання перепаду тиску з відносною похибкою, меншою від 0.2 %. Границі піддіапазонів вибрано за точками перетину кривих III відносної

похибки, побудованих за залежністю (3), із лінією  $\delta = 0.2$  %. Координати точок перетину  $\Delta p_{\text{ВГ}i}$  знайдено за залежністю, отриманою із (3):

$$\Delta p_{\text{ВГ}i} = \Delta p_{\text{ВГ}i-1} \frac{S_{i-1}}{\delta}. \quad (4)$$

Прийнявши для  $i=0$   $\Delta p_{\text{ВГ}0} = \Delta p_{\max} = 100\%$ , для  $i=1,2,3$  одержуємо відповідно до (4) межі піддіапазонів  $\Delta p_{\text{ВГ}1} = 37.5\%$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}2} = 14\%$ ,  $\Delta p_{\text{ВГ}3} = 5.3\%$  від  $\Delta p_{\max}$ . Оскільки значення відносної похибки згідно з (3) не може бути меншим за значення класу точності перетворювача, а клас точності (крива IV на рис. 2, б) досягає 0.2 при роботі перетворювача на шкалі 0...3 % від  $\Delta p_{\max}$ , то подальше розбиття на піддіапазони не зменшить відносної похибки вимірювання нижче від значення 0.2 %. Введення піддіапазону 0...2 % дає змогу тільки максимально наблизити значення відносної похибки до її мінімально можливого значення – класу точності в цьому діапазоні.

В результаті реалізації розбиття, показано на рис. 2, відносна похибка  $\delta$  буде змінюватись за залежністю, яка відтворюється кривою OABCDEFGK. При вимірюванні перепаду тиску в межах  $3\% \leq \Delta p \leq 100\%$  відносна похибка  $\delta$  не буде перевищувати 0.2 %, а при вимірюванні  $1\% \leq \Delta p \leq 3\%$  – 0.525 %.

Значення відносної похибки в будь-якій точці повного діапазону вимірювання, поділеного на  $N$  піддіапазонів, може бути знайдене за формулою:

$$\delta = \begin{cases} \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p} S_0, & \text{для } \Delta p_{\text{ВГ}1} < \Delta p \leq \Delta p_{\max}; \\ \frac{\Delta p_{\text{ВГ}1}}{\Delta p} S_1, & \text{для } \Delta p_{\text{ВГ}2} < \Delta p \leq \Delta p_{\text{ВГ}1}; \\ \dots & \dots \\ \frac{\Delta p_{\text{ВГ}N}}{\Delta p} S_N, & \text{для } 0 < \Delta p \leq \Delta p_{\text{ВГ}N}, \end{cases} \quad (5)$$

де  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_N$  – клас точності 0-го, 1-го,  $N$ -го піддіапазону.

Для випадку розбиття на п'ять піддіапазонів, як показано на рис. 2, формула (5) набере вигляд:

$$\delta = \begin{cases} \frac{\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.375\Delta p_{\max} < \Delta p \leq \Delta p_{\max}; \\ \frac{0.375\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.14\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.375\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.14\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.075, & \text{для } 0.053\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.14\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.053\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.12, & \text{для } 0.02\Delta p_{\max} < \Delta p \leq 0.053\Delta p_{\max}; \\ \frac{0.02\Delta p_{\max}}{\Delta p} \cdot 0.275, & \text{для } 0 < \Delta p \leq 0.02\Delta p_{\max}. \end{cases} \quad (6)$$

Значення класу точності при роботі перетворювача на третьому піддіапазоні  $S_3=0.12$  та четвертому  $S_4=0.275$  визначені за формулою (2).

Запропонований метод розширення діапазону вимірювання витрати реалізований нами в системі вимірювання витрати та кількості природного газу на базі

обчислювача ОВК-ПГ (НПВП "Техприлад", м. Львів) [5]. Програма обчислювача реалізує алгоритм встановлення піддіапазонів, який дає змогу поділити весь діапазон вимірювання не більш ніж на вісім піддіапазонів. Для вимірювання тиску та перепаду тиску в цій системі застосовуються вимірювальні перетворювачі Hartmann&Braun класу точності 0.1 або Fisher-Rosemount класу точності 0.075.

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – Л., 1989. 2. Ковела И.М., Ситницкий Ю.И. О расширении диапазона измерений расходомеров переменного перепада давления. Контрольно-измерительная техника // 1974. – Вып.16. – С. 91-95. 3. Model 3051C Differential pressure transmitter. Product Data Sheet PDS 4622. Rosemount Inc. 1999. 4. Model 621D Differential pressure transmitter. Specification Sheet. ABB Instrumentation Inc., 1999. 5. Пістун С.П. Облік та економія природного газу. // Нафтова і газова промисловість. 2000. – №2. – С. 43-47.

УДК 681.142.37

## АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ РІКИ НА ОСНОВІ КРИТЕРІЮ ВМІСТУ КИСНЮ

© Тадеуш Кватер, Здіслав Кендзьора, 2001

Ряшівський педагогічний університет, вул. Рейтана, 16, 35-959, Ряшів, Польща

*Запропоновано систему моніторингу стану забруднення ріки на основі аналізу критерію вмісту кисню, яка може на основі тільки одного замірювання надати інформацію про рівень забруднення ріки з певним випередженням, що дає змогу ефективніше реагувати у разі виникнення екологічної небезпеки.*

*Предложена система мониторинга состояния загрязнения реки на основании критерия содержания кислорода. Эта система, используя только данные единичных измерений, дает информацию о состоянии загрязнения реки с определенным упреждением, что позволяет эффективно реагировать в случае возникновения экологической катастрофы.*

*The system of monitoring of pollution state of river based on the analysis of oxygen contents criterium is proposed in this paper. The proposed system of monitoring and control can supply information about level of river pollution on the basis of only one measurement and can supply information with some predictiveness which give opportunity for effective reaction in the case of ecological emergency.*

Наявність чистої води в річках є важливою проблемою, оскільки це чи не єдине джерело питної води для мешканців міст. Впродовж багатьох років, коли забруднення деяких річок привело до зникнення в них життя, вживаються заходи для покращання стану рік. Для ефективного розв'язання цієї проблеми недостатнім є лише побудова очисних споруд, необхідним також є постійний контроль забруднених викидів та швидкий вплив на ситуацію в критичних випадках. Не

можна виключати можливість виникнення аварії очисних споруд або приплив великої кількості органічних забруднень з сільськогосподарських угідь чи комунальних споруд, у випадку сильних дощів. Такі забруднення можуть привести до пониження рівня кисню до величини, за якої зникає біологічне життя в ріці. Навіть короточасна нестача кисню може призвести до екологічної катастрофи, а зародження життя в ріці потребує десятків років.