

Вимоги. – Введ. 01.10.2001. – К.: Держстандарт України, 2001. – 28 с. 7. ДСТУ ISO 9004-2001. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності. – Введ. 01.10.2001.–К.: Держстандарт України, 2001. –52 с. 8. Ванько В.М. Розвиток теоретичних засад та нормативно-технічного забезпечення оцінювання якості електричної енергії в мережах загального призначення: Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. доктора техн. наук / Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – Л., 2008. – 36 с. 9. Ванько В., Столярчук П. Метод оцінювання якості електроенергії на основі матричного числення // Тези доп. 9-ї Міжнар. наук.-техн. конф. “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2008). – / [www.vstu.vinnica.ua / mccs2008 / materials / subsection_3.1.pdf](http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2008/materials/subsection_3.1.pdf) – Вінниця, 2008. – С. 8–10. 10. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и контроля качества. Учеб. пособие. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 320 с. 11. Куць В.Р. Розвиток нормативної бази з оцінювання якості продукції: Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. кандидата техн. наук / Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – Л., 2005. – 19 с. 12. Гунькало А.В. Розроблення нормативно-методичних засад оцінювання систем управління якістю: Автореф. дис. на здобуття наук. ступ. кандидата техн. наук / НУ “Львівська політехніка”. – Львів, 2007. – 21 с. 13. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения. – Введ. 01.07.1979. – М.: Госстандарт СССР, 1979. – 34 с. 14. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 01.01.1982. – М.: Госстандарт СССР, 1979. – 25 с.

УДК 681.121

О.З. Парнета

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

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ГАЗУ ПЛІВКОВИМ МЕТОДОМ

© Парнета О.З., 2009

Проаналізовано точність вимірювання витрати газу плівковим методом, розглянуто фактори, які впливають на точність, оцінено граничні похибки вимірювання та вказано шляхи їх зменшення.

In the article the accuracy of measuring the gas flow rate by film flowmeter is analysed, factors which influences on the accuracy are considered, and ways of their improvement are offered.

Вступ. Сьогодні відомо декілька десятків методів вимірювання витрати газів, що зумовлено широкою номенклатурою та істотними відмінностями у фізико-хімічних властивостях газів [1, 2]. Різноманітність середовищ та умов вимірювання витрати газів, підвищення вимог до якості вимірювань (точність, надійність, швидкодія тощо) диктують необхідність пошуку нових та вдосконалення відомих методів та пристроїв забезпечення таких вимірювань.

Постановка задачі. Плівковий витратомір – один з найпоширеніших приладів для вимірювання малих витрат газів, придатний також для метрологічного забезпечення промислових витратомірів та градування лічильників газу [1–4]. Плівкові витратоміри характеризуються простотою технічної реалізації, невисокими затратами на виготовлення та обслуговування, проте недостатня дослідженість методу обмежує його широке застосування, тому доцільними та актуальними є вдосконалення плівкового методу з метою підвищення надійності та точності вимірювання, а також автоматизація процесу вимірювання з можливістю використання витратоміра також і в автоматизованих інформаційних чи керуючих системах. Для цього необхідно проаналізувати плівковий метод вимірювання, його похибки, фактори впливу, а також шляхи їх усунення (зменшення).

Основні положення. Плівковий витратомір реалізує абсолютний метод вимірювання витрати газу, що полягає у вимірюванні часу τ проходження рухомою рідинною плівкою між двома (верхньою та нижньою) фіксованими відмітками мірної трубки, які визначають калібрований об'єм V газу. Складовими елементами приладу є мірна трубка, резервуар з плівкоутворюючою рідиною, генератор плівок, пристрій руйнування плівок та відведення плівкоутворюючої рідини у резервуар, а також система фіксування переміщення плівки. Основною є мірна трубка витратоміра, решта елементів – допоміжні, обслуговуючі.

Похибка вимірювання витрати плівковим витратоміром залежить від його виконання, точності визначення каліброваного об'єму вимірювальної ділянки витратоміра і точності вимірювання часу проходження плівкою цієї ділянки, умов вимірювання (барометричний тиск і температура навколишнього середовища), швидкості та форми рухомої плівки, трансфузії газу через плівку, насичення газу парою плівкоутворюючої рідини, поглинання та виділення рідиною газу (чи окремих компонентів), хімічної взаємодії газу з плівкоутворюючою рідиною [4]. Під час проектування високоточного і надійного плівкового витратоміра газу з розширеним діапазоном вимірювання необхідно передбачити заходи для усунення похибок, або, принаймні, їхнє зменшення, врахування чи компенсації.

Визначальним елементом плівкового витратоміра є мірна трубка з шаром плівкоутворюючої рідини на її внутрішній поверхні, від якої безпосередньо залежать точність, надійність і діапазон вимірювання [5]. Калібрований об'єм газу має два трактування: перше – це місткість мірної трубки між двома фіксованими відмітками, друге – це об'єм дози досліджуваного газу в трубці, обмежений плівкою рідини на внутрішній поверхні мірної трубки та поверхнями рухомої плівки у верхньому та нижньому фіксованому положенні. У зв'язку з цим відомі різні методи калібрування об'єму, більшість з яких визначають місткість мірної трубки з подальшим врахуванням змін каліброваного об'єму, спричинених наявністю, а також деформацією форм і розмірів рідинних плівок в трубці.

Відомий геометричний метод визначення місткості мірної трубки не може бути рекомендований через недопустимо великі похибки, особливо для трубок складної геометрії (значні зміни діаметрів по висоті, вставні елементи тощо) [6].

Об'ємний та ваговий методи визначення місткості можуть давати значно вищу точність порівняно з геометричним. Методики здійснення обох цих методів відрізняються лише кінцевим етапом визначення об'єму перелитої з трубки у мірну посудину води – безпосередньо за допомогою мірного циліндра або за допомогою зважування. Тому більшість факторів, що впливають на точність калібрування у них є спільними. Для обох методів характерні такі основні похибки [6]:

- від залишкових крапель на стінках трубки після зливання води у мірну посудину – до 3 %;
- від випаровування води з мірної посудини – до 0,04 %;
- візуального відліку рівня води у мірній трубці – до 0,5 %;
- кількості води у мірній посудині внаслідок невчасного чи неякісного припинення зливання води з мірної трубки – до 2 %.

Окремо для об'ємного методу властиві ще похибка відліку рівня води у мірному циліндрі – до 2,5 % та похибка зразкових мір об'єму – до 2 %.

Сумарні граничні похибки об'ємного та вагового методів визначення місткості мірних трубок різних об'ємів наведено в табл. 1.

Вказані методи не враховують наявності шару плівкоутворювача на стінках мірної трубки при визначенні каліброваного об'єму, що призводить до похибки 1...12 % залежно від об'єму мірної трубки (див. табл.1).

З метою досягнення максимально можливої точності та врахування наявності шару плівкоутворювача в мірній трубці плівкові витратоміри доцільно калібрувати, використовуючи ваговий метод із заміщенням каліброваного об'єму газу тотожним об'ємом рідини (метод заміщення). Методу заміщення властиві такі основні похибки [6]:

- від випаровування води з мірної посудини – до 0,04 %;

- візуального відліку положення рухомої плівки у мірній трубці – до 0,5 %;
- внаслідок невчасного припинення зливання води з проміжної посудини – до 2 %;
- від різної кривизни рухомої плівки при фіксації верхнього і нижнього положень – до 0,25 %.

Сумарна гранична похибка визначення каліброваного об'єму методом заміщення з візуальним відліком для мірних трубок різних об'ємів наведена в табл. 1.

При забезпеченні спеціальних умов калібрування (зокрема, застосування оптико-електронних пристроїв для фіксування проходження плівки в трубці, стабілізація температури приміщення, мінімізація втрат і стабілізація витрати води, застосування перекидного пристрою) граничну похибку визначення каліброваного об'єму методом заміщення можна звести до 0,01...0,03 % залежно від розмірів мірної трубки [6]. До того ж визначення місткості мірної трубки, наприклад, геометричним методом і неврахування наявності шару плівкоутворювача на стінках мірної трубки може призвести до сумарної граничної похибки об'єму на рівні двох десятків відсотків.

Непостійність форми та геометричних розмірів шару плівкоутворюючої рідини на поверхні мірної трубки під час калібрування та експлуатації може істотно впливати на точність та надійність вимірювання витрати плівковим методом. Рідинна плівка може мати неоднакову товщину по висоті мірної трубки внаслідок стікання під дією сил гравітації, випаровування і старіння плівкоутворюючої рідини, причому всі ці процеси залежать від часу набирання дози газу, періодів між окремими вимірюваннями, а також часу експлуатації плівкоутворювача. Інтенсивність стікання залежить від поверхневих сил взаємодії плівкоутворюючої рідини і стінок мірної трубки, а також густини та в'язкості плівкоутворюючої рідини. Випаровування шару плівкоутворюючої рідини може бути доволі інтенсивним, коли її основою є рідина з низькою температурою кипіння, наприклад, вода, а газ є сухим. Нерівномірність рідинної плівки всередині трубки може бути локальною внаслідок часткових забруднень поверхні та слідів неякісних рухомих плівок. Так, наприклад, при використанні мильного розчину в трубці з внутрішнім діаметром 15,5 мм і об'ємом 100 мл товщина шару на внутрішній поверхні мірної трубки може становити 0,3 мм. Відносне зменшення об'єму залежить від розмірів мірної трубки. У табл. 1 наведені значення похибки $\delta_{u.n.}$, зумовлені наявністю шару плівкоутворювача товщиною 0,3 мм. Як очевидно з таблиці, гранична похибка $\delta_{u.n.}$ залежно від об'єму трубок набуває значень від 1 до 11,4 %. Необхідно відзначити, що при використанні замість водного розчину мила органічних розчинників (формамід, етиленгліколь) з поверхнево-активними речовинами (ОР+ПАР) товщина шару плівкоутворювача на внутрішній поверхні трубки не перевищує 0,02 мм, що є в 10 раз менше від товщини шару мила. Тому похибка $\delta_{u.n.}$ під час використання органічних розчинників є значно меншою (до 0,8 %). З метою зменшення похибки $\delta_{u.n.}$ доцільно використовувати органічні розчинники з поверхнево-активними речовинами замість водного розчину мила, застосовувати пристрої відведення відпрацьованих плівок, забезпечити плівковий витратомір системою автоматичного запуску вимірювань, щоб між ними були однакові періоди часу. Градувати мірну трубку треба при середньому шарі плівкоутворюючого розчину на стінках і вимірювати витрату газу при такій же товщині шару всередині трубки.

У разі вимірювання витрати, а також під час калібрування кривизна плівки при проходженні нижньої та верхньої міток в мірній трубці може бути різною, що впливає на точність вимірювання (похибка δ_R). Кривизна плівки залежить від вимірюваної витрати, від діаметра мірної трубки, від змоченості стінок трубки, а також від плівкоутворюючої рідини. Склад плівкоутворюючої рідини впливає на товщину плівки, її пружні властивості, натяг розриву. Зміна прогину плівки може бути навіть при незмінній витраті внаслідок старіння плівки, особливо при великих значеннях часу вимірювання. Похибку δ_R можна визначити за формулою

$$\delta_R = \frac{V_1 - V_2}{V_{m.тр.}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $(V_1 - V_2)$ – це різниця об'ємів сегментів, обмежених сферою плівки, при проходженні нижньої та верхньої міток в мірній трубці з фіксацією плівки по нижній лінії (рис.1а) або різниця об'ємів над плівкою при проходженні нижньої та верхньої міток з фіксацією плівки по верхній точці (рис.1б); $V_{м.тр.}$ – об'єм мірної трубки.

Таблиця 1

Похибки вимірювання витрати газів плівковим методом

$V_{м.тр.}$ мл	d , см	l , см	Похибки калібрув. δ_V , %			$\delta_{ш.л.}$, %	ОР + ПА Р	δ_R , % при $\Delta h = 0,1$ см		$\delta_{диф.}$, %						δ_τ , %			$\delta_{звол.}$, % $\varphi = 100$ %		$\delta_{гр.}$, % (при $\Delta t =$ 15°C)
			метод					δ_{R1}	δ_{R2}	H_2	CH_4	N_2	O_2	He	Ar	$\Delta\tau$, с			водн. розч.	орг. розч.	
			об.	ваг.	за м.											розч. мила	0,2	0,02			
2	0,5	10	9,4	5,2	3,5	11,4	0,8	0,67	0,31	0,48	0,51	-0,227	0,79	-0,47	0,92	1,0	0,1	0,01	2,4	0,1	0,042
5	0,65	15	6,7	3,3	2,1	9,0	0,6	0,41	0,26	0,32	0,35	-0,15	0,54	-0,32	0,63						
10	0,8	20	4,8	2,4	1,5	7,4	0,5	0,29	0,21	0,24	0,26	-0,116	0,41	-0,24	0,47						
25	1,13	25	3,4	1,6	1,3	5,3	0,4	0,24	0,16	0,19	0,21	-0,09	0,33	-0,19	0,38						
50	1,35	35	2,4	1,3	1,1	4,4	0,3	0,15	0,13	0,14	0,15	-0,066	0,23	-0,14	0,27						
100	1,78	40	2,0	1,0	1,1	3,3	0,2	0,13	0,12	0,12	0,13	-0,057	0,20	-0,12	0,23						
200	2,46	42	1,5	0,8	1,1	2,4	0,16	0,12	0,11	0,115	0,12	-0,055	0,19	-0,113	0,22						
250	2,66	45	1,5	0,7	1,1	2,2	0,15	0,12	0,11	0,11	0,116	-0,05	0,18	-0,106	0,21						
500	3,57	50	1,3	0,6	1,1	1,7	0,1	0,10	0,099	0,09	0,104	-0,046	0,16	-0,095	0,19						
1000	4,43	65	1,2	0,5	1,1	1,4	0,09	0,08	0,076	0,08	0,08	-0,036	0,13	-0,07	0,15						
2000	6,03	70	0,9	0,4	1,1	1,0	0,06	0,15	0,14	0,07	0,07	-0,03	0,12	-0,068	0,13						

Результати визначення похибки δ_R наведені у табл. 1 (δ_{R1} – похибка, зумовлена зміною кривизни плівки, при фіксації плівки по нижній лінії; δ_{R2} – похибка, зумовлена зміною кривизни плівки, при фіксації плівки по верхній точці). Як очевидно з таблиці, похибка δ_{R1} є значно більшою від похибки δ_{R2} , тому при вимірюванні витрати рекомендуємо фіксувати плівку по верхній точці, а не по нижній лінії. З метою зменшення похибки δ_R необхідно забезпечити добру змоченість стінок мірної трубки по всій висоті, стабілізувати вимірювану витрату, а також застосовувати відповідні до умов вимірювання плівкоутворюючі рідини.

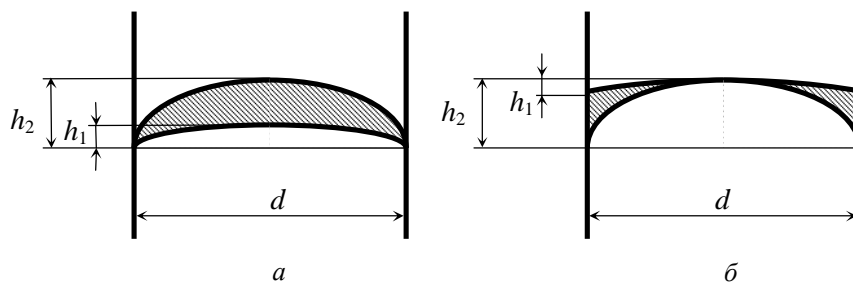


Рис. 1 . Зміна кривизни плівки:

а) фіксація плівки по нижній лінії; б) фіксація плівки по верхній точці.

d – діаметр мірної трубки; h_1 – висота сегменту, обмеженого сферою плівки, при проходженні нижньої мітки; h_2 – висота сегменту, обмеженого сферою плівки, при проходженні верхньої мітки

При вимірюванні витрати різних газів (наприклад H_2 , CO_2 , CH_4) і відкритому в атмосферу виході мірної трубки витратоміра доза газу під плівкою може деформуватися внаслідок трансфузії

газів через рухому плівку [7]. Причиною цього процесу є різниця парціальних тисків газів з обидвох боків плівки: парціальні тиски компонентів повітря над плівкою вищі, ніж під плівкою, а парціальний тиск досліджуваного газу (чистого або його компонентів) над плівкою є нижчий. Процес перегікання газу через двосторонню рідинну плівку в напрямі меншого парціального тиску складається з трьох стадій: розчинення газу у поверхневому шарі плівки з боку більшого парціального тиску, дифузії через шар рідини плівки та виділення (десорбції) газу з протилежного боку плівки. Дифузійне переміщення газу в шарі рідини може бути зумовлене різними рушійними силами. При різній концентрації газу в рідині з протилежних боків плівки виникає молекулярна дифузія. Крім цього, газ, розчинений в рідині, може переміщатися разом з нею. Таке переміщення газу є конвективною дифузиею. Проте товщина рідинних плівок, як правило, не перевищує 10 мкм, тому вплив конвективної дифузії на переміщення газу є незначний і для розрахунку дифузії достатньо використати рівняння дифузії Фіка [7].

Згідно з першим законом Фіка для одномірного потоку газу його кількість dm , яка переноситься через площу A поперечного перерізу за час dt , є пропорційною градієнту dC/dh концентрації C газу по товщині h плівки:

$$\frac{dm}{dt} = -D A \frac{dC}{dh}, \quad (2)$$

де D – коефіцієнт молекулярної дифузії.

У стані рівноваги згідно з законом Генрі концентрація газу (чистого або його компонентів) в приповерхневому шарі рідини дорівнює

$$C = b p, \quad (3)$$

де b – коефіцієнт розчинності газу; p – парціальний тиск газу біля поверхні плівки.

Отже, витрата газу, що дифундує через плоску рідинну плівку, описується рівнянням

$$\frac{dm}{dt} = -D A b \frac{\Delta p}{h}, \quad (4)$$

де Δp – різниця парціальних тисків газу в середовищах, розділених плівкою.

Коефіцієнт дифузії D є константою пропорційності між витратою газу, що дифундує через плоску рідинну плівку та рушійною силою дифузії (наприклад, градієнтом концентрації).

Для визначення коефіцієнтів дифузії у воді використовують кореляцію Гайдюка–Лоді [7]:

$$D_{AW} = 13,26 \cdot 10^{-5} \cdot h_w^{-1,14} \cdot V_A^{-0,589}, \quad (5)$$

де D_{AW} – коефіцієнт дифузії газу A при розчиненні у воді (індекс w), $\text{см}^2/\text{с}$; η_w – в'язкість води, сП ; V_A – мольний об'єм газу, $\text{см}^3/\text{моль}$.

Результати оцінки похибки $\delta_{\text{диф}}$ вимірювання витрати внаслідок дифузії газу через рухому плівку для різних газів з метою їх порівняння наведено в табл.1. Як очевидно з таблиці, похибки вимірювання витрати внаслідок трансфузії газів для мірних трубок малих об'ємів можуть сягати до 1 % (наприклад, для аргону). Тому для точних вимірювань процес трансфузії необхідно враховувати та вживати заходів щодо зменшення вказаної похибки. Для зменшення трансфузії газів через плівку під час вимірювання витрати треба запобігати появі різниці парціальних тисків. Найпростіше це зробити загинанням донизу вихідного кінця мірної трубки витратоміра. Також для зменшення різниці парціальних тисків газів рекомендуємо перед вимірюванням витрати – декілька разів пропустити плівку по трубці витратоміра (особливо, для газів, які за складом істотно відрізняються від повітря).

Під час вимірювання витрати газу об'єм газу в мірній трубці збільшується внаслідок випаровування плівкоутворюючої рідини і зволоження газу її парами, що зумовлює додаткову похибку $\delta_{\text{вол}}$ визначення витрати газу. При температурі газу 20°C і атмосферному тиску зволоження сухого газу парами води до відносної вологості $\phi = 65\%$ призводить до збільшення його об'єму на $1,5\%$, а зволоження до повного насичення ($\phi = 100\%$) – на $2,4\%$. З метою

зменшення похибки $\delta_{\text{звол.}}$ замість води в плівкоутворюючій рідині доцільно використовувати рідини з вищою температурою кипіння, ніж у води. Для етиленгліколю, температура кипіння якого $190\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск насиченої пари не перевищує 100 Па , тому навіть при повному насиченні сухого газу в мірній трубці парами етиленгліколю збільшення об'єму цього газу при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і атмосферному тиску не перевищує $0,1\%$, що, зрештою, також можна істотно зменшити засобами контролю випаровування складників плівкоутворюючої рідини і відповідно враховувати під час обчислення витрати. Найпростіше це зробити застосуванням сатуратора, що дозволяє зменшити вказану похибку на порядок. Проте застосування сатуратора для зменшення впливу зволоження досліджуваного газу може бути ефективним тільки при відомій вологості газу (наприклад, коли газ є практично сухий) з подальшим перерахунком результатів вимірювання у витрату газу з початковою вологістю. У цьому разі можна додатково застосовувати вологомір.

Явищами сорбції-десорбції можна нехтувати тільки, коли витратомір використовують для одного і того самого газу (або суміші постійного складу) і при тому газ (або всі компоненти суміші) є слабо розчинним у плівкоутворюючій рідині. Прикладом таких газів можуть бути повітря, водень, окис вуглецю. Полярно протилежний випадок спостерігається для сильнорозчинних у воді газів (амоніак, бромистий водень, двоокис сірки) навіть при постійному складі газу, коли вимірювання є практично неможливим. В таких випадках допомогти може тільки плівкоутворююча рідина з основою, в якій не розчиняються компоненти досліджуваного газу. Вказана похибка залежить від розчинності газових компонентів, діапазону і швидкості зміни концентрацій компонентів досліджуваного газу, властивостей плівкоутворюючої рідини, площі та часу контактування газу з плівкоутворювачем. Оцінка цієї похибки для конкретного випадку може бути достатньо складною задачею, зокрема може вимагати експериментальних досліджень.

Оскільки об'єм газу V залежить від тиску та температури, то метод вимагає або їх стабілізування, або врахування за відповідним рівнянням стану. Проте стабілізування вказаних параметрів має певні обмеження щодо точності, так за допомогою існуючих технічних засобів абсолютний тиск можна стабілізувати на рівні $\pm 50\text{ Па}$, а температуру $\pm 0,1\text{ К}$. Врахування тиску і температури газу виконують переважно за рівнянням Клапейрона, що допустимо для тисків, близьких до атмосферного.

Температура впливає на результат вимірювання багатьма шляхами, а саме: теплове розширення скла мірної трубки, плівки рідини на внутрішній поверхні трубки та досліджуваного газу, а також зміна концентрації пари плівкоутворюючої рідини у досліджуваному газі. Для зменшення впливу температури плівковий витратомір можна обладнати системою термостабілізації та вирівнювання температури всередині теплового контуру, в якому перебуває мірна трубка, генератор плівок і теплообмінник, з точністю $\pm 0,1\text{ К}$. З метою забезпечення однорідності температурного поля в мірній трубці доцільно обладнати її двома окремими термодавачами біля каліброваних міток, а також теплообмінником на вході витратоміра.

Складовою похибки вимірювання витрати та калібрування є зміна об'єму мірної трубки, зумовлена відхиленням температури навколишнього середовища від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $\delta_{t.m.тр.}$:

$$\delta_{t.m.тр.} = \frac{V_t - V_n}{V_n} \cdot 100\% = 3\alpha \cdot \Delta t \cdot 100\% , \quad (6)$$

де V_n – номінальне значення об'єму каліброваної ділянки мірної трубки при температурі $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; V_t – об'єм каліброваної ділянки мірної трубки при температурі навколишнього середовища в умовах експлуатації; α – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу мірної трубки; Δt – різниця значень нормальної температури ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) і граничної в умовах експлуатації.

Мірні трубки плівкових витратомірів виготовляють зі скла з середнім коефіцієнтом лінійного теплового розширення α – не більше $94 \cdot 10^{-7}\text{ К}^{-1}$. Гранична додаткова похибка $\delta_{t.m.тр.}$ від зміни температури $20 \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює $\pm 0,042\%$.

При візуальному відліку з використанням секундоміра похибка визначення часу τ може не перевищувати $\pm 0,2$ с [3], що при малій тривалості часу τ може значно впливати на результат вимірювання. Наприклад, при $\tau=20$ с похибка визначення часу становить 1 %. Цю похибку можна зменшити на порядок, збільшивши час τ до 200 с, але це може виявитися неможливим для цього об'єму мірної трубки. Крім того, затягування часу τ може спричинювати деструктивні зміни у рухомій плівці та у плівці на стінках мірної трубки. Тому єдиним радикальним способом зменшення цієї похибки є встановлення автоматичних фіксаторів з електронним секундоміром, що зводить цю похибку до величини, яку можна не враховувати.

Значний вплив на точність вимірювання може чинити швидкість рухомої плівки біля каліброваних міток, особливо при візуальному відліку. Ця швидкість залежить переважно від витрати газу та діаметра мірної трубки в околі каліброваних міток, проте може мінятися також від імпульсів тиску. Експериментально доведено, що для візуального відліку ця швидкість не повинна перевищувати 4 см/с [3], хоча для автоматичного відліку може бути істотно вищою. Єдиним способом зменшення швидкості плівки є збільшення діаметра, що має, проте, свої обмеження. Похибка вимірювання від невідповідності положень рухомої плівки та каліброваної відмітки залежить від об'єму мірної трубки, якості відліку та діаметра трубки в зоні відмітки. Отже, тут існує протиріччя: з одного боку, для зменшення швидкості треба збільшувати діаметр, а з другого, із збільшенням діаметра зростає похибка від невідповідності положень плівки та каліброваних відміток в моменти фіксації, а також зростають похибки, пов'язані зі зміною форми плівки. Крім того, для зміцнення плівки рекомендовано збільшувати діаметр нижньої кромки мірної трубки. Звідси очевидно, що вибір діаметрів входу, біля каліброваних міток та центральної частини трубки має бути оптимізованим за критерієм максимальної точності визначення витрати.

Витрата газу визначається параметрами V і τ , які обидва залежать від геометричних розмірів мірної трубки, тому їх вибір повинен базуватися на критеріях, які визначають якість вимірювання. Критерієм оптимізації є мінімум похибки $\delta_{\tau V} = \delta_{\tau} + \delta_V$ [8]:

$$\delta_{\tau V}^{\min} = \left(\Delta_{\tau} + \frac{\Delta_l}{v_{\text{опт}}} \right) \cdot \frac{Q_{\max}}{V_{\text{опт}}}, \quad (7)$$

де Δ_t – абсолютна похибка реакції відлікової системи; Δ_l – абсолютна гранична похибка встановлення місцезнаходження двох (нижньої та верхньої) міток відліковою системою; Q_{\max} – верхня границя вимірювання витратоміра; v – швидкість рухомої плівки ($v_{\text{ном}} \leq v_{\text{max}}$); V – калібрований об'єм мірної трубки.

Нехай похибка δ_Q складається з основної похибки $\delta_{\tau V}$ та додаткової δ_R , яка містить всі інші можливі похибки, пов'язані з неконтрольованими змінами температури і тиску газу, взаємодії газу з плівкоутворюючою рідиною тощо. Значення додаткової похибки δ_R визначається рівнем (якістю) виконання плівкового витратоміра і для точних вимірювань становить $\delta_R = 0,08$ %, а для найвищої точності – $\delta_R = 0,05$ % [3]. При вимірюванні температури, тиску звичайними засобами, похибка становить $\delta_R = 0,17$ %. Враховуючи, що $\delta_{\tau V} = \delta_Q - \delta_R$, можна одержати формулу для визначення об'єму V_{\min} мірної трубки, який забезпечить вимірювання витрати до Q_{\max} із похибкою, що не перевищує заданої δ_Q . Отже, для визначення достатнього об'єму мірної трубки із заданою похибкою δ_Q основною залежністю є

$$V_{\min} = \frac{\Delta_{\tau} + \Delta_l / v_{\max}}{\delta_Q - \delta_R} Q_{\max} = k_{\delta} Q_{\max}. \quad (8)$$

Залежність для визначення найменшого діаметра d_{\min} ділянок фіксації моментів проходження рухомої плівки, який забезпечує умову $v \leq v_{\max}$ [8]:

$$d_{\min} = 2 \sqrt{Q_{\max} / (\pi v_{\max})}. \quad (9)$$

Залежність для знаходження найменшої довжини l_{min} каліброваної частини циліндричної мірної трубки з внутрішнім діаметром d має вигляд

$$l_{min} = k_{\delta} v_{max} . \quad (10)$$

Найменшу довжину l_{min} мірної трубки із розширеною середньою частиною з внутрішнім діаметром D можна визначити за формулою

$$l_{min} = k_{\delta} v_{max} / n^2 , \quad (11)$$

де $n = D / d_{min}$.

Наведені формули накладають обмеження на геометричні розміри мірних трубок з огляду на задані похибку δ_Q , витрату Q_{max} , тип відлікової системи та рівень виконання плівкового витратоміра. До того ж існують обмеження на можливість якісного вимірювання найменшої витрати Q_{min} з огляду на максимальний час τ_{max} проходження рухомої плівки між верхньою та нижньою фіксованими відмітками мірної трубки. Ці обмеження спричинені часом тривалості циклу вимірювання витрати, деструктивними явищами у шарі плівкоутворювача на внутрішній поверхні трубки, стабільністю рухомої плівки тощо. З врахуванням наведених залежностей одержуємо формули для знаходження Q_{min} та кратності q границь вимірювання у вигляді

$$Q_{min} = V_{min} / \tau_{max} ; \quad q = Q_{max} / Q_{min} = \tau_{max} / k_{\delta} . \quad (12)$$

Похибка δ_Q вимірювання витрати мірними трубками оптимізованих конструкцій дорівнює

$$\delta_Q = \frac{\Delta_{\tau} + \Delta_l / v_{max}}{V} Q_{max} + \delta_R . \quad (13)$$

На базі наведених формул були розраховані різні варіанти мірних трубок плівкового витратоміра для заданих максимального значення витрати Q_{max} , похибки δ_Q її вимірювання, а також для різних типів відлікової системи та рівня виконання витратоміра. У табл. 2 наведені приклади конструкцій мірних трубок плівкового витратоміра у базовому та оптимізованому виконаннях, серед яких деякі були перевірені експериментально [3]. Ці приклади наочно демонструють можливості та властивості плівкового витратоміра, які визначаються конструкцією мірної трубки.

Для того, щоб спроектувати мірну трубку, спочатку необхідно знайти обмеження для неї у базовому виконанні, що передбачає знаходження мінімальних об'єму V_{min} , діаметра d_{min} та довжини l_{min} . Розрахунок цих параметрів мірної трубки вимагає задання характеристик відлікової системи, а саме: абсолютних похибок вимірювання часу Δ_{τ} та місцезнаходження Δ_l двох міток, а також максимально допустимої швидкості v_{max} рухомої плівки.

Для вимірювання витрат газу до 100 л/год мірні трубки можна виконувати циліндричними. У разі, коли довжина l_{min} базової конструкції є неприйнятною, наприклад більша 500 мм, то її довжину можна зменшити збільшенням внутрішнього діаметра d_{min} мірної трубки (див. варіанти № 3–6).

Візуальну відлікову систему можна застосовувати для витрат до 100 л/год із забезпеченням високої точності вимірювання. Для більших витрат, наприклад до 1000 л/год, і застосуванні візуальної відлікової системи похибка δ_Q вимірювання витрати зростає до 2 %.

Вимірювання витрат в діапазоні від 100 л/год до 10 м³/год вимагає конструювання мірної трубки з розширеною середньою частиною. Вимірювання витрат від 0,1 до 10 м³/год з малими похибками можливе лише з використанням автоматизованої відлікової системи. Коли внутрішній діаметр розширеної частини мірної трубки перевищує 80 мм (див. варіанти № 14,18) доцільним є застосування спеціальних заходів підвищення стабільності рухомої плівки, пов'язаних, наприклад, із встановленням для неї додаткової опори, зокрема, коаксіально розміщених у мірній трубці вставних елементів [5]. Такі елементи дозволяють збільшити верхній діапазон вимірювання витратоміра принаймні до 4 м³/год, а за сприятливих умов і до 10 м³/год.

Геометричні розміри мірних трубок та характеристика якості плівкового витратоміра

№ з/п	Завдання		Тип ВС, РВ	Обмеження МТ			Оптимізовані конструкції мірних трубок								
	Q_{max} л/с	л/ГОД		δ_Q %	V_{min} л	d_{min} мм	l_{min} см	d мм	D мм	L см	V л	t_{min} с	Q_{min} л/ГОД	q	δ_Q %
1	0,0028	10	2	В,З	0,0342	9,4	49	10	10	45	0,035	12,7	0,424	24	2
2				В,Т	0,0325	9,4	47	10	10	42	0,033	11,9	0,396	25	2
3			0,25	В,Т	0,368	9,4	529	30	30	52	0,37	133	4,44	2,3	0,25
4				А ₁ ,Т	0,0331	3	476	10	10	43	0,034	12,2	0,408	24	0,25
5				А ₂ ,Т	0,0033	0,9	471	10	10	20	0,016	5,8	0,192	52	0,12
6				0,15	А ₂ ,М	0,0056	0,9	801	10	10	20	0,016	5,8	0,192	52
7	0,028	100	2	В,З	0,3443	29,9	49,2	35	35	45	0,4330	15,5	5,1954	19,4	1,63
8				В,Т	0,3281	29,9	46,9	35	35	42	0,4041	14,4	4,8490	20,8	1,64
9			0,25	В,Т	3,7059	29,9	529	30	85	65	3,9017	139,3	46,8	2,2	0,24
10				А ₁ ,Т	0,3335	9,4	476	30	30	48	0,3393	12,1	4,07	24,8	0,25
11				А ₂ ,Т	0,0330	3,0	471	12	12	35	0,0396	1,4	0,475	212	0,22
12				0,15	А ₂ ,М	0,0561	3,0	801	15	15	35	0,0619	2,2	0,7422	136
13	0,8	2880	-	В,Т	-	160	-	60	150	80	14	17,5	168	17	>5
14	1	3600	0,25	А ₁ ,Т	11,9	56	476	56	150	77	12	12	144	25	0,25
15				А ₂ ,Т	1,2	18	471	20	80	51	2,1	2,1	25,2	143	0,18
16			0,15	А ₂ ,М	2	18	801	20	80	51	2,1	2,1	25,2	143	0,15
17	2,8	10 ⁴	0,25	А ₂ ,М	2,8	30	400	30	93	51	2,86	1	34,3	292	0,25
18	0,15		А ₂ ,М	5,6	30	801	40	100	81	5,7	2	68,4	146	0,15	

Тип ПВ: ВС – відлікова система:

В – візуальна ($\Delta_T = 0,2$ с; $\Delta_l = 0,01$ мм; $v_{max} = 0,4$ дм/с);

А – автоматизована: А₁ – $\Delta_T = 0,02$ с; $\Delta_l = 0,001$ мм; $v_{max} = 4$ дм/с;

А₂ – $\Delta_T = 0,002$ с; $\Delta_l = 0,0001$ мм; $v_{max} = 40$ дм/с;

РВ – рівень вимірювань, що визначають додаткові похибки:

З – звичайний ($\delta_R = 0,17$ %);

Т – точні вимірювання ($\delta_R = 0,08$ %);

М – максимально точні вимірювання ($\delta_R = 0,05$ %).

Отже, сумарна похибка плівкового витратоміра залежить, насамперед, від його виконання, методу та якості градування, а також властивостей досліджуваного газу та плівкоутворюючої рідини і може бути вирахована за оцінками складових похибок, розглянутих в цій роботі (див. табл. 1).

У разі проектування високоточного та надійного плівкового витратоміра газів з розширеним діапазоном вимірювання необхідно враховувати вказані особливості методу. Пропонуємо структурну схему вдосконаленого плівкового витратоміра (рис. 2). Обладнання витратоміра додатковими пристроями для зменшення похибок вимірювання та поліпшення його метрологічних характеристик перетворює його у доволі складний вимірювальний комплекс з газових, рідинних, електричних, оптичних і теплових систем.

Мірна трубка з шаром плівкоутворюючої рідини на її внутрішній поверхні та рухомою плівкою є визначальними елементами витратоміра, від яких безпосередньо залежать точність, надійність та діапазон вимірювання. Важливим для підвищення якісних характеристик плівкового витратоміра є контроль товщини шару плівкоутворювача (наприклад, кондуктометричним методом [9]) на внутрішній поверхні трубки, який здійснюють за допомогою зондів та блока контролю. Якщо поверхня трубки є недостатньо змочена плівкоутворювачем, електронний блок сигналізує про неготовність приладу і необхідність додаткового змочення. Якщо ж шар плівкоутворювача є достатнім для проходження плівки по всій довжині трубки, то електронний блок враховує об'єм плівкоутворювача під час обчислення витрати газу. Обладнання трубки такою системою дозволяє

підвищити надійність і точність калібрування та вимірювання, забезпечує певну стабільність шару плівкоутворювача на внутрішній поверхні трубки, проте цей метод придатний лише для електропровідних плівкоутворювачів і не забезпечує усунення похибки від нестабільності шару. З метою порівняння було проведено дослідження гладкої та матової мірних трубок, яке полягало у вимірюванні електричного опору R шару плівкоутворюючої рідини на внутрішній поверхні трубки внаслідок її повного змочення. Збільшення електричного опору R шару плівкоутворюючої рідини на внутрішній поверхні мірної трубки свідчило про зменшення товщини цього шару, тобто його висихання. Цікавим є те, що через три доби шар плівкоутворювача всередині матової трубки залишився, а всередині гладкої трубки – повністю висох ($R=\infty$). Тому з метою забезпечення стабільності шару плівкоутворюючої рідини пропонуємо у плівковому витратомірі використовувати мірні трубки з матовою внутрішньою поверхнею.

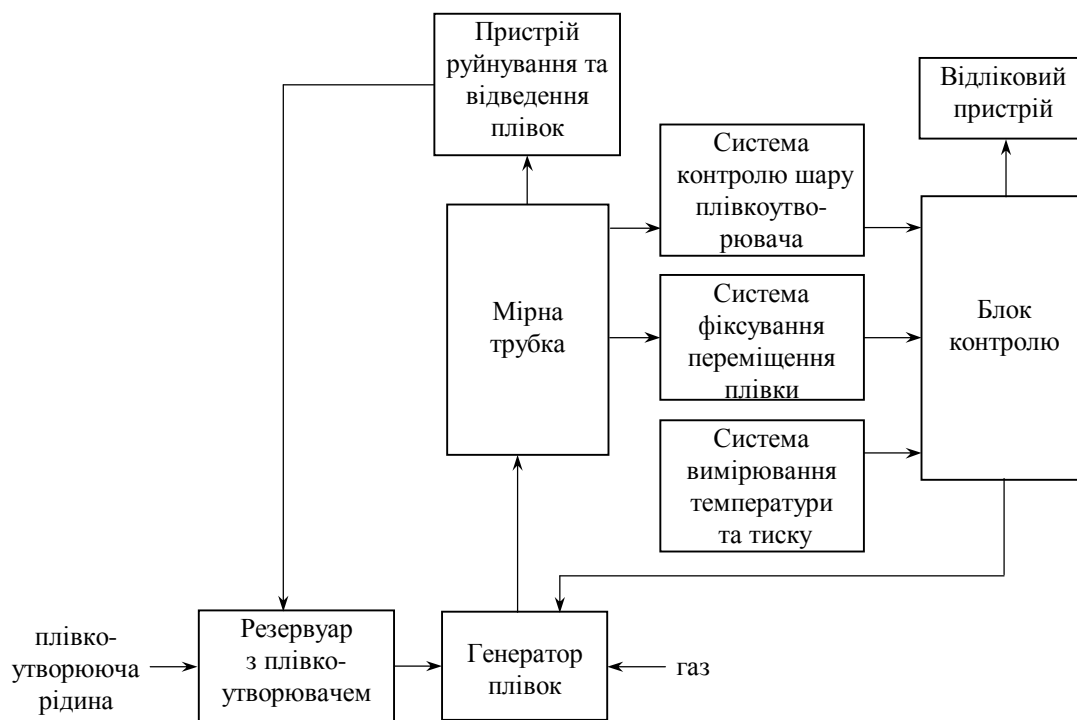


Рис. 2. Структурна схема вдосконаленого плівкового витратоміра

Заміна візуального відліку моментів проходження плівкою каліброваних міток мірної трубки та ручного вмикання/вимикання секундоміра для вимірювання часу τ на систему автоматичного відліку [10–12] і розрахунку витрати з врахуванням реального стану досліджуваного газу є фактором, що перетворює витратомір у сучасний вимірювальний прилад. Така система побудована за допомогою оптико-електронних пар на базі джерела світла, фіксатора проходження плівки, блока контролю та відлікового пристрою. Автоматизація процесу вимірювання істотно поліпшує метрологічні та експлуатаційні характеристики, зокрема різко зменшує низку похибок: похибку Δ_τ визначення τ набирання каліброваного об'єму V , похибку впливу швидкості плівки і похибку Δ_l встановлення місцезнаходження плівки відносно каліброваних міток. Так, наприклад, в системі візуального відліку і ручного вмикання/вимикання секундоміра $\Delta_\tau = 0,2$ с, $\Delta_l = 0,25$ мм при максимальній швидкості $v_{max} \leq 0,04$ м/с [3]. Застосування системи автоматичного визначення τ дозволяє принаймні на порядок поліпшити вказані параметри.

Крім функції визначення τ блок контролю може здійснювати ще низку важливих функцій, які забезпечують якісне вимірювання, а саме: контроль наявності регламентованого шару плівкоутворювача на внутрішній поверхні трубки, вимірювання температури і тиску газу в трубці, вимірювання барометричного тиску, контроль проходження плівкою каліброваних міток,

обчислення заданого виду витрати, нормування витрати, а також здійснює неперервну роботу витратоміра в автоматичному режимі, або в режимі окремих вимірювань.

Другим важливим фактором автоматизації витратоміра є система генерації регламентованої плівки та підтримання стабільного шару плівкоутворювача на внутрішній поверхні трубки, яка включає такі елементи і пристрої кола плівкоутворювача: генератор плівок, зонди контролю товщини шару плівкоутворюючої рідини, пристрій руйнування і відведення плівкоутворюючої рідини, а також резервуар з плівкоутворюючою рідиною.

Експлуатаційні та метрологічні характеристики плівкового витратоміра значною мірою визначають властивості плівкоутворюючої рідини і у зв'язку з цим вимоги до рідини є особливими – вони надзвичайно різноманітні, а водночас доволі жорсткі: здатність утворювати міцні, порівняно товсті плівки значних розмірів (наприклад для трубки з діаметром до 10 см) із тривалістю життя не менше 15 хв.; добрі змочувальні властивості; всі компоненти рідини повинні мати тиск насиченої пари принаймні на порядок-два менший ніж у води; незмінність властивостей з часом; хімічна інертність та нетоксичність; практично не розчинити в собі газів і мати малі коефіцієнти дифузії газів; негігроскопічність; відповідні до вибраних джерела світла і фіксатора оптичні властивості; не створювати піни; не залишати слідів на внутрішній поверхні мірної трубки. Нехтування вказаними вимогами може призвести або до непрацездатності приладу (наприклад, внаслідок нежиттездатності плівок, або несприймання фіксатором плівки), або до недопустимого зростання похибки вимірювання внаслідок деформації дози газу. Одночасно зауважимо, що створення як універсального плівкоутворювача для різних газів, так і плівкоутворюючої рідини для конкретного газу потребує додаткових досліджень. Нами для використання у витратомірі рекомендовано універсальну рідину, до складу якої входять етиленгліколь як основа, синтанол (17 %) та поліакриламід (0,1 %) [13].

Рухома плівка внаслідок неякісної роботи генератора або стікання решток зруйнованих плівок може набувати нерегламентовану форму, зокрема, мати випадковий газорідинний супровід (піна, окремі бульки, потовщений меніск тощо), який під час проходження плівки вздовж трубки від нижньої до верхньої мітки може змінити свою форму або відокремитися від рухомої плівки, внаслідок чого виникає похибка об'єму V величиною, як показав експеримент, до 0,5 %. Тому з метою підвищення надійності вимірювання витрати особливу увагу потрібно приділяти вибору генератора плівок і пристрою руйнування плівок та відведення плівкоутворюючої рідини.

Найякісніші плівки можуть забезпечити кільцеві генератори [14]. У таких генераторах на вхідний торець трубки подається сформована плівка, утворена при витяганні з резервуара з плівкоутворювачем попередньо зануреного кільця, діаметр якого більший від діаметра нижнього торця трубки, завдяки чому у трубку входить плівка без периферійної потовщеної частини. Це практично виключає можливість входу в трубку плівки із супроводжуваними газорідинними утвореннями, які деформують калібрований об'єм мірної трубки. У такому випадку можна вважати, що плівка і особливо її меніски у трубці завжди мають регламентовану форму, а відповідна похибка зведена до зникло малої величини.

У найпростішому витратомірі руйнування рухомої плівки відбувається, як правило, на вихідному торці трубки і тому рештки зруйнованих плівок можуть стікати донизу і проникати у калібровану частину трубки, деформуючи цим її калібрований об'єм. Додаткова похибка від залишків зруйнованих плівок може нагромаджуватися і особливо для трубок малих об'ємів може досягати відчутної величини. Так, у виконаному нами експерименті для мірної трубки об'ємом 25 мл після руйнування на вихідному торці 10 плівок фактичний об'єм порівняно з номінальним зменшився на 0,16 %. Крім того, необхідність обов'язкового руйнування плівки на виході витратоміра може виникати, наприклад, у разі, коли його вихід під'єднаний до технологічного обладнання, в якому недопустима поява плівкоутворювача. У зв'язку із вказаним у плівковому витратомірі доцільно застосовувати пристрої для руйнування плівок та відведення залишок у

резервуар, в якому зберігається запас плівкоутворюючої рідини. Резервуар є обов'язковим елементом навіть найпростішого плівкового витратоміра і його основними функціями є: зберігати запас плівкоутворювача, постачати його у генератор плівок, приймати рештки зруйнованих плівок. Крім того, він повинен забезпечувати можливість поповнення плівкоутворювача, контролю його рівня і бути герметичним. Особливі вимоги до резервуара з плівкоутворювачем виникають лише під час вимірювання витрати потоків різних газів одним витратоміром поспіль або газу із змінними макроконцентраціями компонентів. У цьому разі площа контакту газу з плівкоутворювачем у резервуарі мають бути мінімальними, тому що внаслідок явищ сорбції-десорбції може деформуватися калібрована доза газу, що у випадку добре розчинних газів (наприклад, CO_2 , NH_3) може призвести до значних похибок вимірювання. Вказані явища можуть проявлятися ще сильніше у разі хімічної взаємодії досліджуваного газу з плівкоутворювачем. Якщо плівкоутворювач на виході з мірної трубки внаслідок взаємодії з газом міняє свої властивості, то доцільність повернення решток зруйнованих плівок у резервуар є сумнівною.

Витратомір має бути обладнаний системою термостабілізації та вирівнювання температури всередині теплового контуру витратоміра, в якому перебувають всі елементи, які можуть впливати на температуру газу. Система термостабілізації включає в себе термометр, регулятор температури, нагрівний елемент, вирівнювач температури (вентилятор), теплообмінник, і забезпечує стабільність та однорідність температурного поля всередині мірної трубки. Застосування у структурі плівкового витратоміра вимірювальних приладів температури та тиску дозволяє істотно підвищити точність визначення витрати.

Висновки. Як зрозуміло з наведеного аналізу, похибка вимірювання витрати за допомогою плівкового витратоміра залежить від дуже багатьох факторів і може бути як мізерно малою, так і недопустимо великою. Ігнорування розглянутими факторами впливу робить плівковий витратомір фактично індикатором витрати, а не вимірювальним приладом. У роботі запропоновані заходи для усунення, зменшення або врахування основних похибок плівкового витратоміра, на основі чого подана структура високоточного приладу для вимірювання малих витрат газів. Обґрунтований вибір плівкоутворюючої рідини та мірної трубки, застосування генератора плівок, пристрою відведення зруйнованих плівок, автоматичних фіксаторів положення плівки і автоматичного розрахунку витрати з врахуванням стану газу, якісна стабілізація температури, згладження імпульсів тиску та якісне градуювання дає змогу одержати високоточний прилад, придатний для метрологічного забезпечення промислових витратомірів і для градуювання лічильників газу. Сумарна похибка такого витратоміра залежить від його виконання, якості градуювання, а також властивостей досліджуваного газу. При врахуванні вищенаведених рекомендацій загальна похибка вимірювання може не перевищувати 0,1 % для газів, які практично не взаємодіють з плівкоутворювачем і з тиском, близьким до атмосферного.

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества.* – 4-е изд. – Л.: Машиностроение, 1989. 2. Френкель Б.А. *Измерение малых и микрорасходов продуктов нефтехимических производств.* – М.: ЦНИИТСнефтехим, 1973. 3. Levy A. *The accuracy of the bubble meter method for gas flow measurements* // *J. Scien. Instrum.*, V.41, 1964. 4. Теплох З.М., Парнета О.З. *Аналіз похибок плівкового витратоміра газу* // *Вимірювальна техніка та метрологія. Міжвід.наук.-техн.зб. Вип. 62.* Львів, вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2003, С. 114–120. 5. Теплох З.М., Парнета О.З. *Вимірювальні бюретки плівкових витратомірів газу* // *Методи та прилади контролю якості.* – № 6, 2000. – С. 64–68. 6. Теплох З.М., Парнета О.З. *Похибки визначення каліброваного об'єму газу в бюретці плівкового витратоміра* // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація".* – № 432, 2001 – С. 121–125. 7. Парнета О.З., Теплох З.М. *Вплив трансфузії газів на точність вимірювання витрати плівковим витратоміром* // *Вісник Нац.*

ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація". – № 617, 2008. – С. 179–183. 8. Ділай І.В., Парнета О.З., Теплох З.М. Розрахунок і оптимізація конструкції мірних трубок плівкових витратомірів // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація". – № 581, 2007 – С. 104–110. 09. А.с.1631285 СССР, G 01 F 1/42. Пленочно-пузырьковый расходмер / Дубовой Н.Д., Илясов А.Ю. (СССР). – № 4627415/10; Заявл.28.12.88; Опубл. 28.02.91, Бюл. № 8. – 4 с. 10. Патент 13107 України, G 01 F 1/70. Плівковий витратомір / А.Ф. Данько, І.С. Ігнашкін. – № 5100024/SU; Заявл. 08.05.91; Опубл. 28.02.97, Бюл. № 1. – 5 с. 11. Пат. 4.879.907 США, G 01 F 1/708. Soap film flowmeter / Dwight Patterson (США). – № 14.577; Заявл. 13.02.87; Опубл. 14.11.89. – 7 с. 12. Пат. 2 092 742 А Великобританії, G 01 P 5/18. Bubble flowmeter / Peter Small (Великобританія). – № 8104006; Заявл. 10.02.81; Опубл. 18.08.82. – 5 с. 13. Парнета О.З. Плівкоутворююча рідина для мікровитратомірів газів // Науковий Вісник. – Нац. лісотехн. ун-т України. – Випуск 17.4, 2007. – С. 130–133. 14. Теплох З.М., Парнета О.З. Генератори плівок мікровитратомірів газів// Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація". – 2002. – № 460. – С. 78–81.

УДК 681.2:543.27

І.В. Ділай, З.М. Теплох

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ПОБУДОВА ПОДІЛЬНИКІВ ТИСКУ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ДРОСЕЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРІВ

Ї Ділай І.В., Теплох З.М., 2009

Описана система стабілізування тисків живлення газодинамічних синтезаторів, яка побудована на базі лінійного багатоеlementного подільника тиску і яка забезпечує приготування газових сумішей із заданим з високою точністю складом у широкому діапазоні концентрацій компонентів, а також з одночасною можливістю плавної зміни витрати суміші на виході синтезатора. Подані залежності для розрахунку геометричних розмірів прохідних каналів капілярних елементів лінійного подільника.

The system of feeding pressures gas-dynamic synthesizers stabilization constructed on the base of linear multiple-unit pressure divider, which provides the gas mixtures preparation with high precision given composition in wide concentration component range, also with simultaneous possibility of mixture flow rate smooth change on the synthesizer outlet, is described. The dependences for estimating of capillary elements straightway canals geometrical dimensions of linear divider are presented.

Постановка задачі. Газові суміші заданого складу використовують у найрізноманітніших сферах людської діяльності, зокрема, в системах життєзабезпечення, медицині та біотехнологіях (наприклад, для дихання і анестезії), в техніці (серед яких зварювальні, лазерні, освітлювальні, захисні суміші), а також у наукових і метрологічних цілях [1]. Одними з найперспективніших засобів для приготування таких сумішей є газодинамічні дросельні синтезатори (ГДС), побудовані на базі змішування дозованих капілярними елементами газових потоків від джерел чистих компонентів [2]. Похибки концентрацій компонентів сумішей, які готують за допомогою таких ГДС, істотно залежать від точності задання та підтримання тисків на входах і виходах дозуючих