

ніки. Особливо актуальним це завдання стало у зв'язку з переходом України на ринкові умови праці, оскільки результати цих вимірювань є основою для фінансових розрахунків між учасниками енергоринку: виробниками електричної енергії, національною енергетичною комісією, енергопостачальними компаніями та споживачами електричної енергії.

1. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність". 2. ДСТУ 2708—99. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. 3. ДСТУ 3215—95. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. 4. РМУ 001-2000. Технічне завдання на проведення державного метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірювань при обліку електричної енергії.

УДК 681.121.852.08

З. Теплюх, О. Парнета

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

ВИСОКОТОЧНИЙ ПЛІВКОВИЙ ВИТРАТОМІР

© Теплюх З., Парнета О., 2004

In this work the principles of construction precision and reliable gas film flowmeter with expanded measurement range are designed.

Вступ. Для вимірювання малих і мікровитрат газів в лабораторних умовах застосовують переважно плівковий витратомір (ПВ) [1]. Це зумовлено передовсім можливістю його позірно простих виконання і градування, що при невисоких вимогах до якості вимірювання дає переваги перед іншими засобами вимірювання. Найпростіший такий витратомір можна виготовити, з'єднавши через трійник скляну мірну трубку (вимірювальну бюретку) з гумовим балоном, заповненим мильним розчином [2], а для вимірювання часу застосовувати ручний секундомір. Таке виконання зумовлює не тільки доволі вузький діапазон вимірювання (1...100 л/год), невисокі експлуатаційні та метрологічні характеристики приладу, а й у багатьох випадках робить його фактично індикатором витрати, а в деяких — взагалі унеможливорює вимірювання [3]. Водночас потенційні можливості плівкового методу вимірювання є доволі високими і дають змогу створювати високоякісні витратоміри в інтервалі 10^{-5} ...4 (10) м³/год.

Окремі елементи таких витратомірів, зокрема, мірні трубки (МТ) і способи їх калібрування [4, 5], плівкоутворювальні рідини (ПР) і основні пристрої рідинного контуру [6] нами були вже проаналізовані, проте й інші пристрої та й увесь комплекс вдосконаленого плівкового витратоміра з додатковими пристроями потребують детальніших досліджень для побудови якісного ПВ.

Мета досліджень. У роботі розглянуто заходи для уникнення або зменшення всіх основних похибок ПВ, на основі чого запропонована структура високоточного автоматичного плівкового витратоміра з розширеним діапазоном вимірювання, похибка якого може не перевищувати 0,1 %.

Основні похибки ПВ. Аналіз похибок плівкового методу вимірювання малих витрат дає змогу визначити такі основні складові та джерела похибок [7]:

- 1) похибки каліброваного об'єму:
 - а) похибка визначення каліброваного об'єму;
 - б) похибки відтворення каліброваного об'єму, зокрема внаслідок:
 - теплового розширення скла МТ;
 - зміни форми і геометричних розмірів плівки на поверхні МТ;
 - змін форми рухомої плівки (РХ);

- впливу швидкості РХ;
 - появи імпульсів тиску в потоці газу;
 - неточності встановлення місцезнаходження РХ відносно каліброваних міток;
 - трансфузії газів через РХ;
- 2) похибки деформації витрати, зокрема внаслідок дії таких чинників:
- насичення газу парою ПР;
 - поглинання газу (окремих компонентів) рідиною;
 - дегазації ПР;
 - хімічної взаємодії газу з ПР;
 - теплового розширення газу в МТ;
- 3) похибки визначення часу;
- 4) похибки нормування витрати, спричинені неточностями визначення:
- температури;
 - абсолютного тиску;
 - коефіцієнта стискуваності;
 - густини в стандартних умовах.

Проектуючи високоточний і надійний плівковий витратомір газу з розширеним діапазоном вимірювання, необхідно передбачити заходи для уникнення вищевказаних похибок, або, принаймні, їх зменшення, врахування чи компенсації. Розглянемо ці заходи і запропонуємо структурну схему вдосконаленого плівкового витратоміра.

Обладнання ПВ додатковими пристроями для зменшення похибок вимірювання і поліпшення його метрологічних характеристик перетворює його у доволі складний вимірювальний комплекс з газових, рідинних, електричних, оптичних і теплових систем (див. рис. 1).

Системи вдосконаленого ПВ.

1. Мірна трубка з шаром ПР на її внутрішній поверхні і РХ є визначальними елементами ПВ, від яких безпосередньо залежать точність, надійність і діапазон вимірювання. З похибок каліброваного об'єму найбільше значення може мати похибка визначення каліброваного об'єму (наприклад, 13,2 % для МТ об'ємом 10 мл при об'ємному методі калібрування). Для досягнення максимально можливої точності вимірювання плівкові витратоміри доцільно калібрувати, використовуючи ваговий метод із заміщенням каліброваного об'єму газу тотожним об'ємом рідини. Похибку калібрування об'єму можна звести до 0,01...0,03 % залежно від розмірів МТ.

Істотний вплив на точність вимірювання мають також похибки від зміни форми і геометричних розмірів плівки на внутрішній поверхні МТ, що визначається, переважно, властивостями ПР і властивостями поверхні МТ, яка повинна забезпечувати змочуваність, близьку до граничної.

Значний вплив на точність відтворення об'єму V може мати швидкість рухомої плівки біля каліброваних міток, особливо при візуальному відліку. Ця швидкість залежить переважно від витрати газу і діаметра МТ в околі каліброваних міток, проте може змінюватися від імпульсів тиску і механічних коливань РХ. Експериментально доведено, що для візуального відліку ця швидкість не повинна перевищувати 4 см/с, хоча для автоматичного відліку може бути істотно вищою. Єдиним способом зменшення швидкості плівки є збільшення діаметра, що має, проте, свої обмеження. Похибка об'єму V від невідповідності положень РХ і каліброваної позначки залежить від об'єму V , якості відліку і діаметра МТ в зоні позначки, цей діаметр доцільно зменшувати для зменшення похибки об'єму V . Отже, тут виникає суперечність: з одного боку, для зменшення швидкості треба збільшувати діаметр, а з іншого, із збільшенням діаметра зростає похибка від невідповідності положень РХ в моменти фіксації та каліброваних позначок, а також зростають похибки, зв'язані з змінами форми плівки. Крім того, для зміцнення плівки рекомендовано збільшувати діаметр нижньої кромки МТ. Звідси випливає, що вибір діаметрів входу біля каліброваних міток і центральної частини МТ має бути оптимізованим за критерієм максимальної точності визначення витрати. Граничне значення похибки від впливу швидкості становить 2 %, але може бути зменшене

на один—три порядки за допомогою правильного вибору діаметрів, застосування якісних пристроїв автоматичного відліку та усунення причин зміни швидкості упродовж циклу вимірювання.

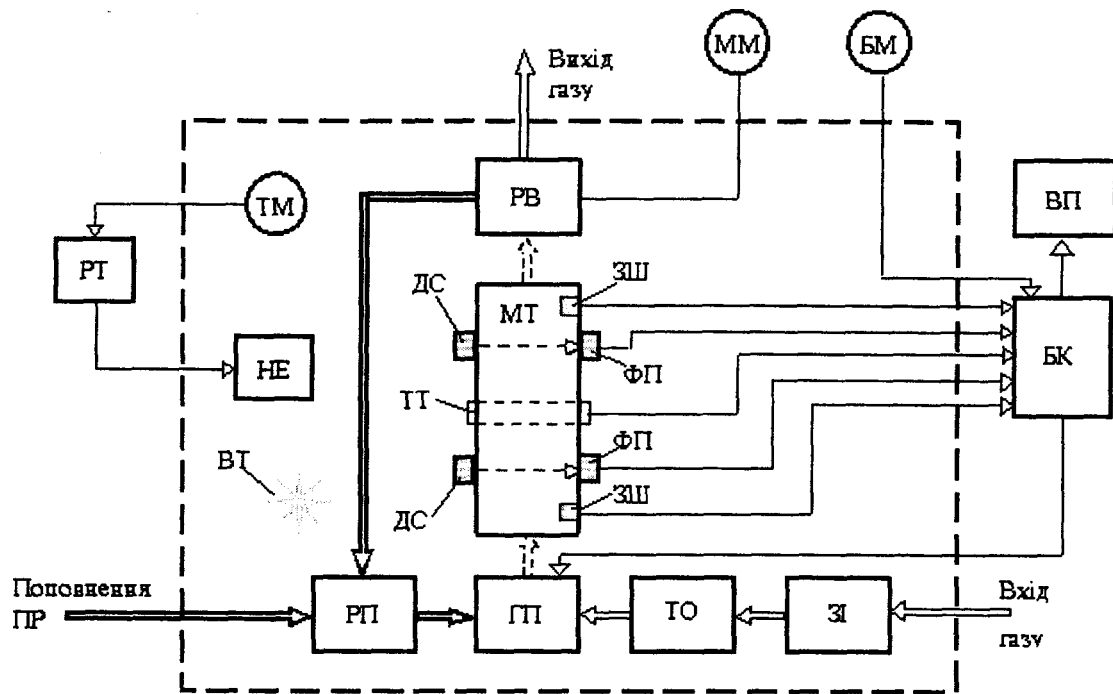


Рис. 1. Структурна схема високоточного плівкового витратоміра:

- МТ — мірна трубка; ДС — джерело світла; ФП — фіксатор проходження плівки; ЗШ — зонд контролю шару ПР; ТТ — точний термометр; ГП — генератор плівок; ТО — теплообмінник;
 ЗІ — згладжувач імпульсів; РП — резервуар з ПР; РВ — пристрій руйнування плівок і відведення ПР;
 БК — блок контролю; ВП — відліковий пристрій; ТМ — термометр; РТ — регулятор температури;
 НЕ — нагрівний елемент; ВТ — вирівнювач температури; БМ — барометр; ММ — манометр;
- — газований тракт;
 - - - - - — плівка + газ;
 ————— — канали ПР;
- - - - - — оптичний канал;
 ————— — інформаційний канал;
 - - - - - — тепловий контур

Для збільшення верхнього значення діапазону вимірювання слід застосовувати МТ з більшими діаметрами, проте збільшення діаметра призводить до збільшення площі поверхні РХ, а тим самим до зростання прогину плівки і зниження її життєздатності. Ці явища в сукупності з граничною швидкістю руху плівки визначають верхній діапазон вимірювання витратоміра. У зв'язку з цим для вимірювання витрат, більших, ніж 10 л/год, для побудови компактної МТ переважно доводиться розширювати її центральну частину. Переходи між різними діаметрами мають бути плавними для уникнення руйнування плівки. Проте застосування МТ з діаметрами, більшими за 50 мм, зменшує надійність вимірювання витрати, особливо при застосуванні органічних ПР. Підвищення надійності результатів вимірювань для витрат, які вимагають МТ з діаметрами більше ніж 50 мм, можна досягти за допомогою МТ з встановленими коаксіально вставними елементами. Такі елементи відіграють роль додаткових опор для рухомої плівки і дають змогу збільшити верхній діапазон вимірювання витратоміра принаймні до 4 м³/год, а за сприятливих умов і до 10 м³/год. На рис. 2 показані конструкції МТ витратомірів із збільшеним верхнім діапазоном вимірювання.

Рекомендовані конструкції МТ:

- для інтервалу витрат 0,1...10 л/год — циліндричні МТ;
- для інтервалу 10 л/год...1 м³/год — з розширеними центральною частиною і входом;

в) для інтервалу 1 (0,1)...4 (10) м³/год — з розширеними центральною частиною та входом і вставними елементами.

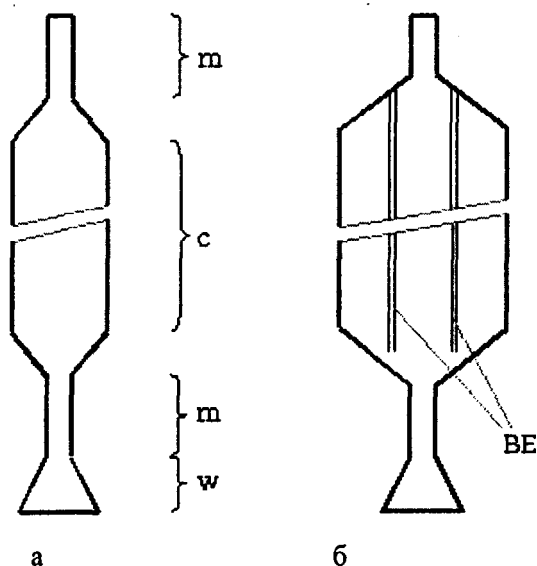


Рис. 2. Мірні трубки для збільшення верхньої межі вимірювання витрати:
 а) з розширеними центральною частиною і входом;
 б) з розширеною центральною частиною і вставними елементами (BE), а також розширеним входом.
 Позначення ділянок мірної трубки:
 с — центральна розширена частина;
 т — звужена частина для оптично-електронних міток;
 w — вхідна частина

2. Автоматизація контролю. Заміна візуального відліку моментів проходження плівкою каліброваних міток мірної трубки (МТ) і ручного вмикання/вимикання секундоміра для вимірювання часу τ на систему автоматичного відліку [8—12] і розрахунку витрати з урахуванням реального стану досліджуваного газу є чинником, що перетворює ПВ у сучасний вимірювальний прилад. Така система побудована з допомогою оптоелектронних пар на базі джерела світла (ДС), фіксатора проходження (ФП) плівки, блока контролю (БК) та відлікового пристрою (ВП). Автоматизація вимірювання істотно поліпшує метрологічні та експлуатаційні характеристики ПВ, зокрема різко зменшує низку похибок: похибку Δ_τ визначення τ набирання каліброваного об'єму V (проходження РХ між каліброваними мітками), похибку впливу швидкості v РХ і похибку Δ_l встановлення місцезнаходження РХ 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 дає змогу принаймні на порядок поліпшити вказані параметри.

Крім функції визначення τ , блок БК може здійснювати ще низку важливих функцій, які забезпечують якісне вимірювання, а саме: контроль наявності регламентованого шару ПР на внутрішній поверхні МТ, вимірювання температури і тиску газу в МТ, вимірювання барометричного тиску, контроль проходження плівкою каліброваних міток, обчислення заданого виду витрати, нормування витрати, а також здійснює неперервну роботу ПВ в автоматичному режимі або в режимі окремих вимірювань.

Залежно від завдання БК може обчислювати три види витрати:

— об'ємну витрату Q_0 в реальних умовах вимірювання (фактично при температурі T і тиску P в МТ);

— об'ємну витрату Q_n в стандартних (нормальних) умовах вимірювання, тобто при $P_n = 101325$ Па і $T_n = 273,15$ К (або $T_n = 293,15$ К);

— масову витрату Q_m газу.

У зв'язку з цим БК повинен забезпечувати вводу значень каліброваного об'єму V , густини ρ_n в стандартних умовах, а також коефіцієнта k стискуваності газу, коли газ у МТ є під тиском, істотно відмінним від атмосферного.

Для здійснення вищевказаних функцій у БК надходять сигнали: від фіксаторів ФП проходження РХ, про температуру T від термометра ТТ, про тиск P від манометра ММ і барометра БМ, про шар ПР від зондів ЗШ контролю шару.

Застосування вказаних вимірювальних приладів (ТТ, ММ, БМ) у структурі ПВ дає змогу істотно підвищити точність визначення витрати. Так, наприклад, похибка δ_Q витрати від зміни температури T газу в МТ становить $0,57\%/K$ і при змінах T на рівні $\pm 5K$ $\delta_Q=2,85\%$. Якщо вимірювати температуру в МТ з похибкою $\pm 0,05 K$, то відповідна похибка δ_Q становитиме $0,017\%$. Проте досягнення такої точності є проблематичним. Однією з основних причин цього є необхідність забезпечення однорідності температурного поля у МТ, що потребує окремих заходів, особливо для МТ значних розмірів. Різниця температур по висоті МТ в $1K$ є далеко не граничним значенням, особливо, якщо газ надходить у ПВ з температурою, яка значно відрізняється від температури МТ. Тому ПВ має бути обладнаний системою термостабілізації та вирівнювання температури всередині теплового контуру ПВ, в якому містяться всі елементи, які можуть впливати на температуру T газу. У систему термостабілізації входить термометр ТМ, регулятор РТ температури, нагрівний елемент НЕ, вирівнювач ВТ температури (вентилятор) і теплообмінник ТО. Стабілізація температури повітря всередині теплового контуру ПВ на рівні $\pm 0,2 K$ є цілком достатньою для забезпечення стабільності та однорідності температурного поля у МТ і тому відповідна гранична похибка становить $\delta_Q=0,017\%$.

Похибка δ_Q від впливу тиску газу в МТ становить для відкритих на атмосферу МТ $0,135\%/mm Hg$. У зв'язку з цим при неврахуванні зміни атмосферного тиску, наприклад, на $30 mmHg$, фактичні витрати відрізняться на 4% . У разі використання барометрів з абсолютною похибкою вимірювань $30 Pa$ відносна похибка визначення витрати становитиме $0,03\%$, що є здебільшого випадків допустимим.

Отже, загалом для ПВ з тиском у МТ, близьким до атмосферного ($k=1$), при якісних стабілізації температури і вимірюваннях абсолютного тиску, враховуючи незалежність цих параметрів, мінімально можлива похибка нормалізації витрати становить $0,045\%$. Водночас слід зауважити, що неврахування взагалі впливу тиску і температури може призвести до похибки на рівні багатьох відсотків.

Набагато складніша ситуація складається, коли газ у МТ є під тиском, істотно відмінним від атмосферного, наприклад, при тиску близько $40 atm$ [13]. У такому разі можна застосовувати манометр абсолютного тиску (або барометр і манометр надлишкового тиску), похибки вимірювання яких є, проте, набагато меншими за похибку визначення коефіцієнта стискуваності газу (наприклад, для приладів фірми "FISHER—ROSEMOUNT" клас точності — $0,075$) [14, 15], внаслідок чого похибка нормалізації витрати може досягати кількох відсотків, саме за рахунок коефіцієнта k .

Додаткова похибка для масової витрати виникає внаслідок неточності визначення густини ρ_n , похибка якої становить $0,1...0,5\%$ [15] і є вирішальною для ПВ з відкритою на атмосферу МТ.

3. Контур ПР. Другим важливим чинником автоматизації ПВ є система генерації регламентованої РХ та підтримання стабільного шару ПР на внутрішній поверхні МТ, яка містить такі елементи і пристрої кола плівкоутворювача: власне ПР, генератор плівок (ГП), зонди ЗШ контролю товщини шару ПР, пристрій руйнування і відведення (РВ) плівкоутворюючої рідини, а також резервуар з плівкоутворюючою рідиною (РП).

3.1. Експлуатаційні та метрологічні характеристики ПВ значною мірою визначають властивості плівкоутворюючої рідини і у зв'язку з цим вимоги до ПР є особливими — вони надзвичайно різноманітні, а водночас доволі жорсткі: здатність утворювати міцні, порівняно товсті плівки значних розмірів (наприклад, для МТ з діаметром до $10 cm$) із тривалістю існування у МТ не менше ніж $15 xв$; добрі змочувальні властивості; всі компоненти ПР повинні мати тиск насиченої пари принаймні на порядок—два менший, ніж у води; незмінність властивостей з часом; хімічна інертність та нетоксичність; практично не розчиняти в собі газів і мати малі коефіцієнти дифузії газів; негігроскопічність; відповідні до вибраних джерела світла ДС і фіксатора ФП оптичні властивості; не створювати піни; не залишати слідів на внутрішній поверхні МТ.

Нехтування вказаними вимогами може призвести або до непрацездатності приладу (наприклад, внаслідок нежиттєздатності 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 ПР для конкретного газу потребує додаткових досліджень. Нами для використання у ПВ рекомендовано універсальну ПР, в склад якої входять етиленгліколь як основа, синтанол (17 %) і поліакриламід (0,1 %).

3.2. 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 МТ від нижньої до верхньої мітки може змінити свою форму або відокремитися від рухомої плівки, внаслідок чого виникає похибка об'єму V зі значенням, як показав експеримент, до 0,5 %.

Найякісніші РХ можуть забезпечити кільцеві генератори. В таких генераторах на вхідний торець бюретки подається сформована плівка, утворена при витяганні з резервуара з ПР попередньо зануреного кільця, діаметр якого більший від діаметра нижнього торця МТ, внаслідок чого у МТ входить плівка без периферійної потовщеної частини. Це практично виключає можливість входу в бюретку плівки із супровідними газорідинними утвореннями, які деформують калібрований об'єм МТ. У такому разі можна вважати, що плівка і особливо її меніски у МТ завжди мають регламентовану форму, а відповідна похибка зведена до зникло малої величини.

3.3. Рідинна плівка на внутрішній поверхні МТ може мати неоднакову товщину по висоті внаслідок стікання рідини під дією сил гравітації, випаровування і старіння ПР. Причому всі ці процеси залежать від часу — часу τ набирання дози газу, періодів між окремими вимірюваннями і часу експлуатації ПР. Інтенсивність стікання залежить від поверхневих сил взаємодії ПР і стінок МТ, а також густини і в'язкості ПР. Старіння ПР може бути спричинене структурними змінами ПР або його взаємодією з газом, що характерно, наприклад, для водних розчинів мила. Випаровування плівки може бути доволі інтенсивним, коли її основу становить рідина з низькою температурою кипіння, наприклад, вода, а газ є сухим. Нерівномірність товщини може бути локальною внаслідок часткових забруднень поверхні та слідів неякісних рухомих плівок.

Сумарна гранична похибка від непостійності форми і розмірів рідинної плівки на поверхні МТ залежно від об'єму МТ може становити 1,2 %, але врахування вищевказаних факторів (зокрема, правильний вибір ПР і застосування пристроїв відведення відпрацьованих плівок) зводить цю похибку до настільки малого значення, що нею можна нехтувати.

У зв'язку з цим також важливим для підвищення якісних характеристик ПВ є контроль товщини шару плівкоутворювача (наприклад, кондуктометричним методом [16]) на внутрішній поверхні МТ, який здійснюють за допомогою зондів ЗШ і блока БК.

3.4. У найпростішому ПВ руйнування РХ відбувається, як правило, на вихідному торці МТ і тому рештки зруйнованих плівок можуть стікати вниз і попри РХ проникати у калібровану частину бюретки, деформуючи цим калібрований об'єм МТ. Додаткова похибка від залишків зруйнованих плівок може нагромаджуватися і особливо для МТ малих об'ємів може досягати відчутної величини. Так, у виконаному нами експерименті для МТ 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 ПВ може виникати, наприклад, якщо вихід ПВ підключений до технологічного обладнання, в якому недопустима поява ПР. У зв'язку із вказаним у ПВ доцільно застосовувати пристрої для руйнування плівок і для відведення залишків (пристрої РВ) у резервуар, в якому зберігається запас ПР і з якого ПР використовується генератором плівок. Якісні пристрої РВ дають змогу звести вищевказану похибку до зникло малої величини.

3.5. Резервуар РП є обов'язковим елементом навіть найпростішого ПВ і він також може впливати на якісні характеристики ПВ. Основними функціями РП є: зберігати запас ПР, постачати ПР у генератор ГП, приймати рештки зруйнованих плівок. Крім того, він повинен забезпечувати можливість поповнення ПР, контролю рівня ПР і бути герметичним. Особливі вимоги до РП вини-

кають лише при вимірюванні витрати потоків різних газів одним ПВ поспіль або газу із змінними макроконцентраціями компонентів. У такому разі площа контакту газу з ПР у резервуарі та маса ПР у ньому мають бути мінімальними, тому що внаслідок явищ сорбції-десорбції може деформуватися калібрована доза газу, що для доберозчинних 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 ПР. Якщо ПР на виході з МТ внаслідок взаємодії з газом змінює свої властивості, то доцільність повернення решток зруйнованих плівок у РП є сумнівною.

4. Згладження імпульсів. Форма регламентованої рухомої плівки залежно від витрати газу може змінюватися від плоскої до випуклої і в зв'язку з цим похибка об'єму V від різної кривини плівки при фіксації верхнього і нижнього положень може досягати, як показав розрахунок, до 0,5 %. Так само на точність вимірювання впливають імпульси тиску в газі, а також механічні коливання плівок значних розмірів. Тому для зменшення імпульсів тиску у високоточному ПВ має бути передбачений згладжувач імпульсів ЗІ, наприклад, у вигляді газодинамічних ланок ємність-резистор.

Висновки. Запропоновані системи усунення, зменшення або врахування основних похибок плівкового витратоміра, на основі яких розроблена структура високоточного приладу для вимірювання мікро- і малих витрат газів. Обґрунтовано вибір плівкоутворюючої рідини та мірної трубки, застосування генератора плівок, пристрою відведення зруйнованих плівок, автоматичних фіксаторів положення плівки і автоматичного розрахунку витрати з урахуванням стану газу, якісна стабілізація температури, згладження імпульсів тиску і якісне градування дає змогу одержати високоточний прилад, придатний для метрологічного забезпечення промислових витратомірів і для градування лічильників газу. Сумарна похибка такого ПВ залежить від його виконання, якості градування, а також властивостей досліджуваного газу. З урахуванням вищенаведених рекомендацій загальна похибка вимірювання може не перевищувати 0,1 % для газів, які практично не взаємодіють з ПР і з тиском, близьким до атмосферного. Для газів під тиском, істотно відмінним від атмосферного, ця похибка може зростати на порядок. Загальна похибка вимірювання може зростати до недопустимо великих значень для газів, які сильно взаємодіють з ПР.

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества*. — Л., 1989. 2. Френкель Б.А. *Измерение малых и микрорасходов продуктов нефтехимических производств*. — М., 1973. 3. Levy A. *The accuracy of the bubble meter method for gas flow measurements* // *J. Scien. Instrum.*, V.41, 1964. 4. Теплюх З.М., Парнета О.З. *Вимірювальні бюретки плівкових витратомірів газу // Методи та прилади контролю якості*. — № 6, 2000. — С. 64—68. 5. Теплюх З.М., Парнета О.З. *Похибки визначення каліброваного об'єму газу в бюретці плівкового витратоміра // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. — 2001. — № 432. — С. 121—125. 6. Теплюх З.М., Парнета О.З. *Пристрої рідинного контуру у плівковому витратомірі // Вісн. НАЦ. УН-ТУ "Львівська політехніка"*. — № 476, 2003 — С. 37—42. 7. Теплюх З.М., Парнета О.З. *Аналіз похибок плівкового витратоміра газу // Вимірювальна техніка та метрологія*. Вип. 62. — 2003— С. 114—120. 8. 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. 9. 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. 10. 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. 11. Пат. 143 823 НДР, G 01 F 1/70. *Seifenfilmstromungsmesser mit digitaler Anzeige der Stromungsgeschwindigkeit* / Schone, Gerd (НДР). — Заявл. 22.05.79; Опубліков. 10.09.80. — 8 с. 12. Пат. 4.914.955 США, G 01 F 1/708. *Soapfilm flowmeter device for measuring gas flow rates* / David A. Stonestrom (США). — № 258,955; Заявл. 29.08.88; Опубл. 10.04.90. — 5с. 13. Köpnick R., Günschel H. *Messung kleiner Gasvolumenströme unter Druck* // *Messen-Steuern-Regeln*. 1980. Bd.23. №4, S.192. 14. Рид Роберт К., Шервуд Томас К. *Свойства газов и жидкостей. Определение и корреляция*. Л., 1971. 15. Морачевский А.Г., Сладков И.Б. *Физико-химические свойства молекулярных неорганических соединений (Экспериментальные данные и методы расчета)* / *Справ. изд.* Л., 1987. 16. А.с.1631285 СССР, G 01 F 1/42. *Пленочно-пузырьковый расхимер* / Дубовой Н.Д., Илясов А.Ю. (СССР). — № 4627415/10; Заявл.28.12.88; Опубл. 28.02.91, Бюл. № 8. — 4 с.