

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГАЗОАНАЛІТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

© Кріль О.В., Кріль Б.А., 2009

**Описано результати експериментального дослідження режимів роботи теплових чутливих елементів з постійною температурою, які виконані з платини і мають захисне покриття, з малим відношенням діаметра до довжини, і які застосовуються в газоаналітичних приладах.**

**Result of experimental investigation of running regimes of thermal sensor with fixed temperature, which are made of platinum wire and have protective coating with small ratio of diameter to length, and which are implemented in gas analyzers, are considered in this paper.**

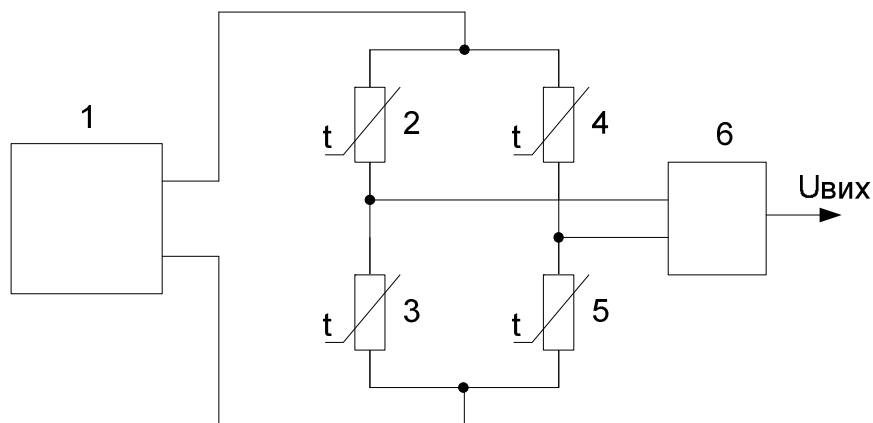
**Постановка проблеми.** У різних за методами вимірювання газоаналітичних приладах застосовуються теплові чутливі елементи для перетворення змін теплофізичних параметрів в електричний сигнал. З метою підвищення швидкодії застосовують схеми та режими ввімкнення чутливих елементів з постійною температурою. Відомі схеми з цим режимом роботи теплових чутливих елементів мають високу чутливість до неінформативних параметрів. Експериментальне порівняння відомих [1, 2, 3, 4] та нових схем [5] ввімкнення цих елементів дозволяє розробляти газоаналітичні прилади з вищою швидкістю та поліпшеними метрологічними характеристиками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У газоаналітичних приладах застосовують покриті шаром скла платинові чутливі елементи, які нагріваються струмом і у разі зміни теплофізичних параметрів або швидкості газової суміші змінюють свою температуру і, відповідно, опір, що сприймається вимірювальною схемою [3, 4]. Саме для цілей газового аналізу найчастіше застосовують ввімкнення таких елементів у мостову вимірювальну схему, яка живиться від джерела стабілізованої напруги або струму. У цьому разі досягається найкраща компенсація впливу основного неінформативного параметра – зміни температури вимірювального модуля, в якому розміщені вимірювальні та порівняльні чутливі елементи. Для цієї схеми значний вплив на форму статичної характеристики і перехідного процесу має перерозподіл відводів тепла від чутливих елементів різними шляхами: через тримач елемента, кондуктивною та конвективною складовою у разі зміни інформативного параметра – концентрації газової суміші. Режим роботи теплових чутливих елементів з постійною температурою мають обмежене застосування в газоаналітичній техніці через високу чутливість до зміни температури стінок комірки, в якій розміщений чутливий елемент, хоча потенційно такий режим дасть змогу істотно зменшити вплив згаданого вище перерозподілу відводів тепла у разі зміни концентрації газової суміші, зменшити час перехідного процесу і позитивно вплинути на зменшення часу повного встановлення показів, що особливо важливо для газоаналізаторів з високою точністю вимірювання. Поява електронних компонентів з раніше недосяжними параметрами, а саме: операційних підсилювачів зі значеннями напруги зміщення на рівні порогу чутливості мостових вимірювальних схем з тепловими чутливими елементами, дає змогу розробляти нові схеми ввімкнення теплових чутливих елементів, в яких будуть усунені недоліки відомих схем ввімкнення та режимів роботи цих елементів.

**Формулювання цілі статті.** Мета роботи – виконати порівняльне експериментальне дослідження основних відомих та запропонованих авторами режимів роботи та схем ввімкнення теплових чутливих елементів газоаналітичних приладів з метою поліпшення метрологічних характеристик та підвищення швидкодії газоаналізаторів.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження режимів роботи теплових чутливих елементів було виконано для одного, найпоширенішого типу чутливих елементів газоаналітичних приладів – платинових чутливих елементів, які виконані з мікропроводу діаметром 20 мкм і покриті шаром скла для забезпечення механічної міцності і захисту від каталітичних реакцій. Такі елементи мають довжину в межах 10–20 мм при зовнішньому діаметрі 0,6–1,2 мм. Для них характерні доволі великі втрати тепла через торцеве з’єднання з тримачем самого елемента, до 20 % від загальної потужності, яка підводиться до елемента. Автори під час розроблень газоаналітичних приладів найчастіше застосовували теплові чутливі елементи виробництва Вирусського заводу газоаналізаторів (м. Виру, Естонія) з номінальним опором в межах 20–22 ом, довжиною 12 мм при зовнішньому діаметрі 0,6 мм і всі числові результати, які будуть наведені нижче, належать або одержані саме для цього типу елементів. Якісні результати можна узагальнити для інших геометричних розмірів і електричних параметрів елементів аналогічної конструкції з невеликим відношенням довжини до діаметра.

Теплові чутливі елементи газоаналітичних приладів найчастіше вмикають у мостові вимірювальні схеми з чотирьох ідентичних елементів, які живлять від джерела стабілізованої напруги або струму (див. рис. 1). Два елементи в протилежних плечах моста поміщені в аналізоване середовище, а інші два – порівняльні, їх поміщають в чистий газ або суміш з постійним складом. Всі чотири елементи вимірювального мостика поміщають в модуль з металу, який має високу теплопровідність, для вирівнювання температур стінок окремих вимірювальних комірок з чутливими елементами. По газовому каналу – це типова диференційна схема. Для такої схеми характерна дуже добра компенсація впливу зміни основного неінформативного параметра – зміни температури вимірювального модуля; незалежно від цієї зміни відбувається вирівнювання температур стінок всіх комірок з вимірювальними і порівняльними елементами. У разі ідентичності параметрів чутливих елементів для неї буде відсутня адитивна похибка від зміни цього неінформативного параметра.



*Рис. 1. Схема ввімкнення теплових чутливих елементів з живленням від джерела зі стабілізованою напругою або від джерела стабілізованого струму:  
1 – стабілізатор напруги або стабілізатор струму; 2–5 – теплові чутливі елементи, з них 2 і 5 поміщені в вимірювальній комірці з аналізованою газовою сумішшю;  
3 і 4 – в комірці з порівняльним газом; 6 – диференційний підсилювач постійного струму*

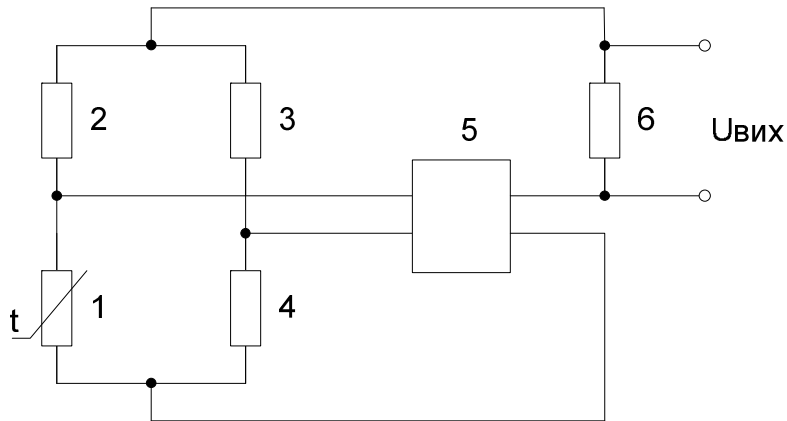
Статична характеристика для варіантів живлення від джерела напруги або джерела струму незначно відрізняється за рахунок перерозподілу спадків напруг і струмів для окремих елементів у схемі з живленням від стабілізованого джерела напруги. Також для цього варіанта більший час встановлення повних показів за рахунок цього самого перерозподілу і супроводжуючих його теплових процесів. Тому схема живлення вимірювального моста від джерела стабілізованого струму має певні переваги – при ній не порушуються теплові режими в порівняльних комірках у разі зміни теплового режиму в вимірювальних комірках за рахунок зміни теплофізичних параметрів аналізованої газової суміші, немає перерозподілу потужності між чутливими елементами в кожному з плеч вимірювального моста і для такої схеми лінійна залежність вихідної напруги від зміни опору чутливих елементів.

Для подальшого аналізу варто зробити прив'язку до певних електричних і теплових режимів згаданих вище чутливих елементів, а також обмежитись під час розгляду одним режимом вимірювання – вимірюванням теплопровідності газової суміші при мінімальному значенні конвективної складової під час відведення тепла від чутливого елемента. Це не завадить застосувати одержані результати для аналізу складніших схем побудови комбінованих газоаналізаторів, коли, наприклад, чутливі елементи сприймають конвективну складову під час вимірювання витрати через дросельні елементи, витратна характеристика яких залежить від густини аналізованого середовища, або для формування функції перетворення газоаналізатора застосовується кондуктивна і конвективна складова процесу відводу тепла від чутливих елементів.

Для елемента з початковим опором 21,94 Ом при температурі 40° С при струмі через елемент 60 мА в азоті опір почне дорівнювати 26,33 Ом, температура чутливого елемента з врахуванням втрат через кріплення 92,7° С, спадок напруги на елементі 1580 мВ, загальна потужність, яка розсіюється на чутливому елементі – 0,0948 Вт, відвід потужності через з'єднання чутливого елемента – 0,0156 Вт. Діаметр вимірювальної комірки, в яку поміщений чутливий елемент – 6 мм, довжина – 30 мм. Вихідна напруга з мостової схеми, яка складається з чотирьох таких елементів і під'єднана до джерела струму, при вказаних режимах живлення змінюється від 0 під час пропускання азоту до 5,54 мВ у разі пропускання газової суміші з концентрацією 1,1 % водню в азоті, від 0 до -5,5 мВ для суміші з концентрацією 10,3 % вуглекислого газу в азоті. Якщо прийняти, що потрібно виміряти зміну концентрації газової суміші, зміна значення якої призводить до зміни вихідного сигналу в межах 0–10 мВ (це, приблизно, буде в два рази більше від зміни концентрації водню і вуглекислого газу порівняно з наведеними експериментально одержаними числовими значеннями) і забезпечити вимірювання концентрації бінарної суміші з середньоквадратичним відхиленням випадкової складової на рівні 0,125 % від такої межі (для побудови зразкових і високоточних промислових газоаналізаторів з межами основної зведеної похибки на рівні 0,25–0,5 %), то вимірювальна схема має мати поріг чутливості на рівні 5–10 мкВ і таку саму допустиму нестабільність напруги зміщення підсилювальних ланок у часі. Це значення відповідатиме зміні опору чутливих елементів на рівні  $2 \cdot 10^{-4}$  Ом і зміні його температури на 0,0025 ° С, зміні потужності, яка відводиться від чутливого елемента, на рівні  $7,5 \cdot 10^{-7}$  Вт. З наведених числових значень, які одержані експериментально або розраховані на основі експериментальних даних, можна зробити такі висновки: температури стінок вимірювальних комірок, в яких розміщені теплові чутливі елементи, мають вирівнюватися з точністю на рівні значень змін температури чутливого елемента; в схемі мають бути витримані вимоги для забезпечення її завадостійкості до різних джерел завад, оскільки потужність наведених сигналів може бути співмірною з мінімальною зміною потужності, що відводиться від теплового елемента; в схемі мають бути скомпенсовані термо Е.Р.С., особливо в місцях з'єднання чутливих елементів, які мають спаї з різномірних матеріалів; сучасні операційні підсилювачі прямого підсилення можна застосовувати під час розроблення вимірювальних схем високоточних газоаналізаторів, оскільки для них напруга зміщення може бути на рівні 10 мкВ (наприклад, ОРА 277 виробництва Burr-Brown).

Для збільшення швидкодії і розширення деяких функціональних можливостей чутливі елементи в газоаналізаторах іноді вмикають у схеми з постійною температурою чутливого елемента [1, 3, 4]. Така схема (рис. 2) складається з одного чутливого елемента і трьох постійних опорів, які ввімкнені в мостову схему. Вихідний сигнал з моста підсилюється підсилювачем постійного струму, котрий мінняє силу струму через іншу діагональ моста і підтримує міст у рівноважному стані. Температура чутливого елемента задається значеннями опорів постійних опорів, а вихідним сигналом схеми є зміна сили струму після підсилювача. Недоліком цієї схеми є дуже висока чутливість до зміни основного неінформативного параметра – зміни температури модуля з чутливим елементом і таку схему взагалі не рекомендують застосовувати при вузьких діапазонах вимірювання [1]. Цей самий висновок можна зробити і з наведених вище числових даних. Крім того, вона утворена різномірними опорами (чутливий елемент – платиновий, постійні опори – манганінові або з металоокисної плівки) і це знижує її стабільність в часі за рахунок різного дрейфу значення опорів і значно нижчої стабільності значення опорів для манганіну або

металоокисної плівки порівняно з платиною. Окремо слід зазначити, що подільник напруги з двох платинових чутливих елементів, які поміщені в термостатовані комірочки з постійним складом газової суміші або з чистим компонентом, має вищу стабільність у часі, ніж подільник напруги з двох постійних і навіть зістарених опорів.



*Рис. 2. Схема ввімкнення теплового чутливого елемента в режимі з постійною температурою:  
1 – тепловий чутливий елемент; 2–4 – постійні опори мостової схеми, співвідношенням значень опорів яких задається температура чутливого елемента;  
5 – диференціальний підсилювач постійного струму; 6 – постійний опір для вимірювання зміни сили струму, що протікає через чутливий елемент*

Для розв’язання задач вимірювання концентрації бінарних газових сумішей була розроблені і досліджувались нові схеми ввімкнення чутливих елементів, в яких вдалося поєднати переваги попередніх схем – забезпечити компенсацію впливу зміни температури вимірювального модуля і підвищити стабільність схеми в часі за рахунок застосування однотипних опорів у мостовій схемі та реалізувати режим роботи чутливих елементів з постійною температурою [5].

Одна з схем з компенсацією температури чутливих елементів в вимірювальних комірках наведена на рис. 3.

У схемі чотири теплових елементи, два з них – вимірювальні, два – порівняльні, живляться від джерела стабілізованої напруги 1 як в звичайній мостовій вимірювальній схемі. Вихідна напруга з діагоналі мостової схеми надходить на вхід підсилювача 6, який має гальванічне розмежування між входом і виходом і вихідний каскад у вигляді перетворювача напруга-струм. Вихід підсилювача 6 під’єднаний до вихідної діагоналі мостової схеми так, що вихідний струм з підсилювача призводить до зміни струму через чутливі елементи і встановлення рівноваги моста. Тобто, у разі зміни концентрації газової суміші, наприклад, збільшення концентрації компонента з вищою теплопровідністю, збільшиться відвід тепла від чутливих елементів 2 і 5, знизяться їхні температури і, відповідно, опори. На виході мостової схеми з’явиться напруга розбалансу, яка підсилиться підсилювачем 6, котрий сформує пропорційний до неї вихідний струм. Цей струм почне протікати через елементи 2 і 5 і додаватиметься до основного струму, який надходить від джерела 1. Температури чутливих елементів і їхні опори повернуться до попередніх значень з невеликою статичною похибкою, котра визначатиметься коефіцієнтом підсилення підсилювача 6. Вихідним сигналом схеми, пропорційним до зміни концентрації газової суміші, буде вихідний струм підсилювача або спадок напруги на опорі 7. Схема була досліджена при значенні коефіцієнта підсилення підсилювача 6, що дорівнює 10мА/мВ і за цього значення вона не втрачала стійкості. Ця схема функціонує так, як описано вище, тільки при живленні мостової схеми від джерела напруги; під час застосування джерела струму будуть перерозподіли потужностей між всіма чутливими елементами у разі зміни концентрації газової суміші. Також для неї необхідно забезпечити однакову швидкість протікання газової суміші через комірочки з вимірювальними чутливими елементами 2 і 5, наприклад, за допомогою однакових послідовно ввімкнених з комірками дроселів для вирівнювання динамічних характеристик обох віток по газовому каналу.

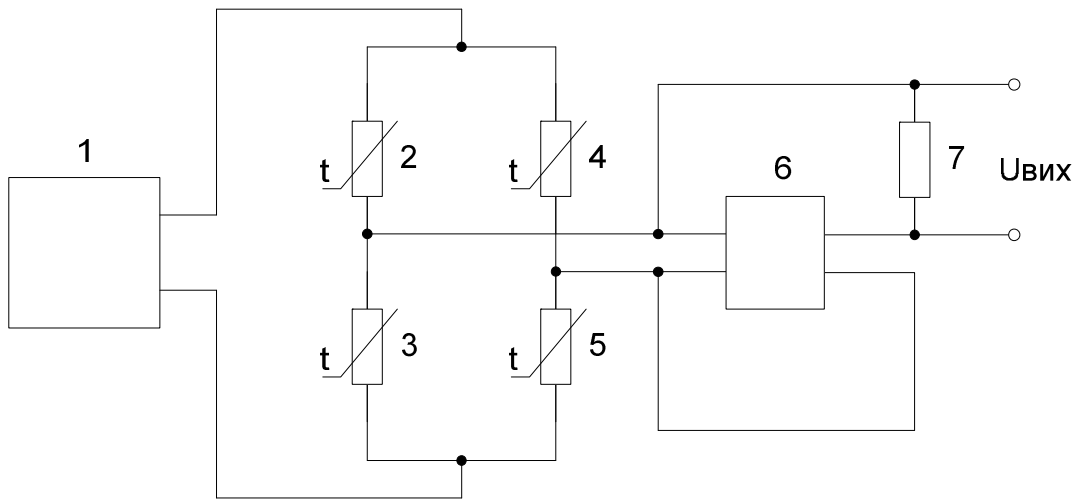


Рис. 3. Схема ввімкнення теплових чутливих елементів з частковою компенсацією зміни температури чутливих елементів: 1 – стабілізатор напруги; 2–5 – теплові чутливі елементи, з них 2 і 5 поміщені в вимірювальній комірці з аналізованою газовою сумішшю, 3 і 4 – в комірці з порівняльним газом; 6 – диференційний підсилювач постійного струму з диференціальним виходом і гальванічно розмежованими входом і виходом; 7 – постійний опір для вимірювання зміни сили струму, що протікає через вихідну діагональ мостової схеми для часткової компенсації зміни температури чутливих елементів

Компенсації зміни температури чутливих елементів у разі зміни теплофізичних параметрів газової суміші також досягнуто в схемі, яка наведена на рис. 4.

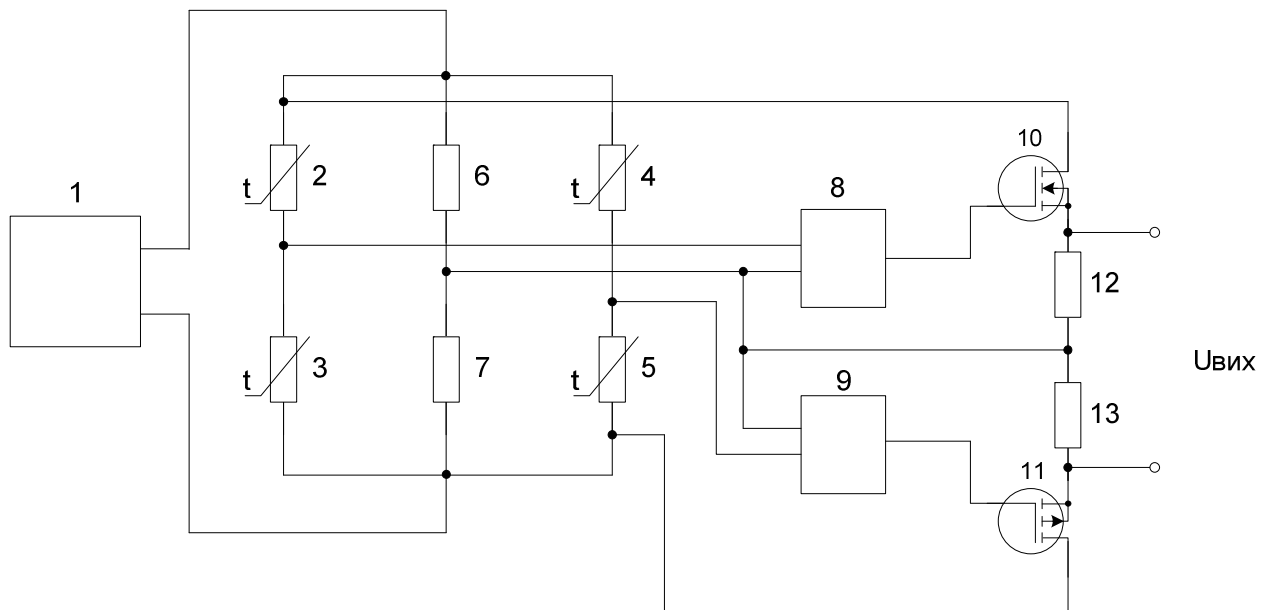


Рис. 4. Схема ввімкнення теплових чутливих елементів з режимом роботи з постійною температурою чутливих елементів і з компенсацією зміни температури вимірювального модуля з чутливими елементами: 1 – стабілізатор напруги або струму; 2–5 – теплові чутливі елементи, з них 2 і 5 поміщені в вимірювальній комірці з аналізованою газовою сумішшю, 3 і 4 – в комірці з порівняльним газом; 6, 7 – допоміжний подільник з двох постійних опорів; 8 – диференційний підсилювач постійного струму для компенсації зміни температури чутливого елемента 2; 9 – диференційний підсилювач постійного струму для компенсації зміни температури чутливого елемента 5; 10 і 11 – польові транзистори, зміною провідності яких міняють струм через чутливі елементи 2 і 5; 12 і 13 – постійні опори для вимірювання зміни струму через чутливі елементи 2 і 5

У схемі встановлений додатковий подільник з постійних опорів 6 і 7, а компенсацію зміни температури вимірювальних чутливих елементів виконують зміною провідності паралельно під'єднаних до них польових транзисторів 10 і 11. Цей подільник складений з двох постійних опорів з високим значенням опору і нестабільність цього подільника дуже мало впливає на стабільність функції перетворення всієї схеми завдяки компенсації його дрейфу.

У разі зменшення теплопровідності газової суміші зменшиться відвід тепла від чутливих елементів 2 і 5, їхні температури зростуть і збільшаться їхні опори. Це призведе до виникнення напруг на входах підсилювачів 8 і 9, вихідні напруги з цих підсилювачів призведуть до відкриття польових транзисторів 10 і 11 і частини струмів, що протікали через чутливі елементи 2 і 5, почнуть протікати через ці транзистори. Температури і опори чутливих елементів 2 і 5 повернуться до попередніх значень з незначною статичною похибкою, яка визначатиметься коефіцієнтами підсилення підсилювачів 8 і 9. Сили струмів, що протікають через транзистори 10 і 11, і послідовно ввімкнені з ними опори 12 і 13 будуть пропорційні до зміни теплопровідності газової суміші. Власне опори 12 і 13 призначені для вимірювання суми сили цих струмів по спадках напруги на них. Для варіанта вимірювання під час збільшення теплопровідності газової суміші порівняльні чутливі елементи 3 і 4 попередньо потрібно зашунтувати постійними опорами, значення яких будуть на 2–3 порядки більші від значення опору чутливих елементів. У цьому випадку у разі збільшення концентрації вимірюваного компоненти транзистори 10 і 12 почнуть закриватися і статична характеристика схеми буде оберненою. Можна також реалізувати половину схеми, наприклад, без подільника з опорів 6 і 7, підсилювача 9, транзистора 11 і опору 13. У цьому разі чутливі елементи 4 і 5 застосовуються як високостабільний подільник, а робочою буде тільки половина моста з вимірювального чутливого елемента 2 і порівняльного 3.

Для експериментального дослідження і порівняння наведених вище схем ввімкнення теплових чутливих елементів з різними режимами роботи застосовувалась експериментальна установка, схема якої наведена на рис. 5.

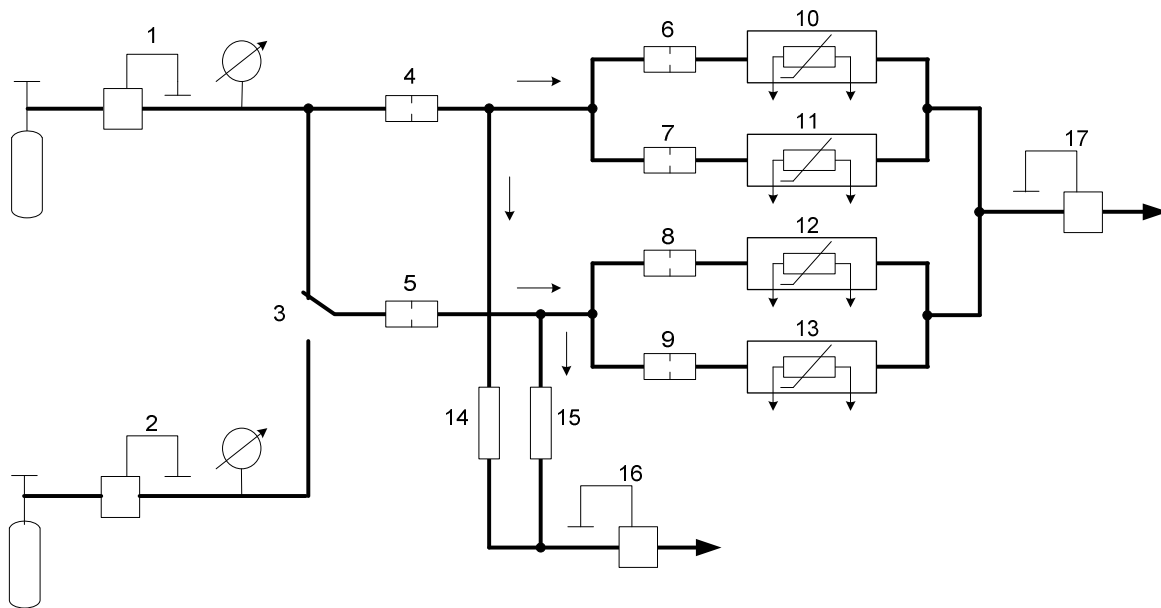


Рис. 5. Схема установки для експериментального дослідження схем ввімкнення теплових чутливих елементів з різними режимами роботи: 1 – джерело азоту (балон з стисненим азотом, редуктор з манометром); 2 – джерело аргону (балон з стисненим аргоном, редуктор з манометром); 3 – перемикач газових потоків без скиду газу; 4 – дросель, який обмежує витрату в лінії подачі азоту через комірки з порівняльними тепловими елементами; 5 – дросель, який обмежує подачу газу через комірки з вимірювальними елементами; 6, 7 – дроселі, які задають витрату азоту через комірки з порівняльними чутливими елементами; 8, 9 – дроселі, які задають витрату газу через комірки з вимірювальними чутливими елементами; 10, 11 – комірки з порівняльними чутливими елементами; 12–13 – комірки з вимірювальними чутливими елементами; 14, 15 – довгі трубки, які вирівнюють тиски перед дроселями 6–9 і запобігають перетіканню газів між вітками порівняння і вимірювання; 16 – стабілізатор абсолютного тиску перед дроселями 6–9; 17 – стабілізатор абсолютного тиску на виході з комірок 10–13

До складу установки входять два джерела чистих газів 1 і 2, відбір від яких перемикають перемикачем 3. Далі всі основні лінії виконані з капілярної трубки з внутрішнім діаметром 2 мм для зменшення інерційності. За допомогою турбулентних дроселів 4 і 5, довгих трубок 14 і 15, які сходяться на один стабілізатор тиску 16, вирівнюються тиски в лініях подачі різних газів. Довгі трубки 14 і 15 запобігають перегіканням між лініями подачі у разі стрибків тисків, які виникають під час перемикань. Це і інші технічні рішення запозичені з [6, 7, 8]. Послідовно з протічними комірками з порівняльними чутливими елементами 10 і 11 та протічними комірками з вимірювальними чутливими елементами 12 і 13 ввімкнені однакові турбулентні дроселі 6–9, які задають витрату газової суміші через ці комірки. Абсолютний тиск у всіх комірках задається стабілізатором абсолютного тиску 17, який також разом з стабілізатором абсолютного тиску 16 визначає перепад тиску на дроселях 6–9. Дроселі 6–9 і тепловий модуль з міді, в якому розміщені комірки з чутливими елементами 10–11, були поміщені в термостат з температурою  $40 \pm 0,1^\circ \text{C}$ .

Під час досліджень вибрано витрату газу через комірки 1 л/год. Тобто, для адекватного порівняння дослідження виконували під час вимірювання кондуктивної складової відводу тепла від чутливих елементів (зміна вихідного сигналу за рахунок зміни витрати газу від 0 до 1 л/год не перевищувала 4 %). Розрахунковий час проходження газу через елементи 4,6,7,10 і 11 або 5,8,9,12 і 13 при вказаній витраті і режимі повного витіснення не перевищував 6 с. Наведені нижче експериментальні дані подані з вирахуванням цього часу.

За ідентичних початкових теплових режимів чутливих елементів стала часу для схеми за рис. 1 з живленням вимірювального моста від стабілізованого джерела струму дорівнювала 14,8 с, час встановлення показів з відхиленням 0,5 % від повного встановлення становив 120 с при перемиканні подачі газу з азоту на аргон. Для схем за рис. 3 і 4 результати виявились практично однаковими і у разі таких самих початкових теплових режимів чутливих елементів для аналогічного стрибкоподібного переходу від азоту до аргону стала часу дорівнювала 8,5 с, а час встановлення показів з таким самим відхиленням – 72 с.

Це значне поліпшення динамічних характеристик, але не таке істотне, як для чутливих елементів з великим відношенням довжини до діаметра. Результат пояснюється значно більшим впливом перерозподілу відводів тепла різними шляхами від чутливих елементів, а саме – за рахунок значного впливу зміни відводу тепла через кріплення короткого елемента. Дослідження виконували на азоті і аргоні з метою одержати необхідні результати тільки для однієї розробки – створення високоточного і швидкодіючого газоаналізатора для вимірювання концентрації азоту в азото-аргоновій суміші з діапазоном вимірювання 0–20 % азоту в суміші. Ця суміш застосовується в технології наповнення колб електричних ламп розжарення [9, 10]. Виконані експерименти доцільно розширити з наведенням статичних і динамічних характеристик і дослідженні у разі зміни складу компонентів з більшою і з меншою теплопровідністю, наприклад, з кроком зміни концентрації через 10–20 % і при декількох різних значеннях витрати газів через вимірювальні комірки.

**Висновки.** Розроблені та експериментально досліджені схеми ввімкнення теплових чутливих елементів газоаналітичних приладів в режимі з постійною температурою забезпечують компенсацію впливу зміни температури вимірювального модуля та підвищену швидкодію і придатні для застосування в газоаналітичних приладах з поліпшеними метрологічними характеристиками.

1. *Термокондуктометрические преобразователи состава и свойств газа с постоянной температурой терморезистора. Обзор. Информ. Сер. "Системы и средства автоматизации химических производств". – М.: НИИТЭХИМ, 1978. – 23 с.* 2. Bruun H.H. Interpretation of hot-wire probe signals in subsonic airflows. "J.Phys. :Sci. Instrum", 1979, № 12, p.1116-1128. 3. Аманназаров А., Розинов Г.Л., Чубукова Н.М. Методы и приборы для определения водорода (газовый анализ): Справочник.- М.: Химия, 1987, 128 с. 4. Аманназаров А., Шарнопольский А.И. Методы и приборы для определения кислорода (газовый анализ): Справочник. – М.: Химия, 1988, 144 с. 5. Кріль О.В., Кріль Б.А. Підвищення точності газоаналізаторів для пристроїв приготування азото-аргонової суміші // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. автоматизація". – 2005. – № 537. – С. 155–158. 6. А.с. № 1363155 СССР. Устройство для стабилизации давления газа в газоанализаторе / Кріль Б.А. и др – Б.И., 1985, № 48. 7. А.с.

№ 1087971 СССР. Устрійство для стабілізації тиску газу в газоаналізаторі / Криль Б.А. і др. – Б.И., 1984, № 15. 8. А.с. № 1136083 СССР. Термоанемометрическая измерительная система / Криль Б.А., Пистун Е.П. – Б.И., 1985, № 3. 9. Б. Криль, О. Криль, Ю. Ваикурак, В. Іватів, Н. Білецький, О. Гоцуляк Газозмішувальний пристрій великої продуктивності для виробництва джерел світла // Збірн. Матер. ІV Міжнар. Наук.-практ. Конф. “Проблеми економії енергії”. – Львів. – 2003. – С. 325–326. 10. Криль Б., Криль О., Ваикурак Ю. Система неперервного приготування азото-аргонової суміші та прилади для вимірювання її складу // Збірн. матер. ІІІ Міжнар. наук.-техн. конф. “Світлотехніка й електроніка: історія, проблеми й перспективи”. – Тернопіль. – 2008. – С. 118–119.

УДК 681.121.84

Л.В. Лесовой, Ф.Д. Матіко

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

## ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ГАЗУ ДЛЯ ВУЗЛІВ ОБЛІКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТОЧКИ РОСИ

© Лесовой Л.В., Матіко Ф.Д., 2009

**Виконано аналіз існуючих рівнянь розрахунку відносної вологості газу та отримано нове рівняння для розрахунку відносної вологості газу за значеннями температури точки роси та температури газу.**

**Analysis of techniques calculation of relative humidity of gas is made and new equation for calculation relative humidity of gas using the dew-point temperature and gas temperature is developed in this paper.**

**Постановка проблеми.** Під час вимірювання витрати та кількості сухої частини вологого газу застосовується повна модель витратоміра змінного перепаду тиску, яка вимагає наявності таких якісних показників вологого газу, як відносна вологість газу або абсолютна вологість газу в робочих умовах. Але у складі багатьох вузлів обліку застосовують прилади для вимірювання температури точки роси. Крім того, у результатах аналізу складу природного газу вміст вологи визначають за температурою точки роси. У чинному в Україні комплексі стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5–2007 [1] – [5] відсутня залежність між відносною вологістю газу та температурою точки роси, яка була наведена у РД50-213–80 [6] та у змінах №1 до РД50-213–80 [7], хоча рівняння розрахунку витрати вологого газу, наведені у цих документах, орієнтовані на введення відносної або абсолютної вологості. Тому отримання залежностей між відносною вологістю газу або абсолютною вологістю газу і температурою точки роси є актуальним завданням, яке вимагає негайного виконання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перша залежність між відносною вологістю газу і температурою точки роси була отримана на базі рівняння Магнуса і Тетенса [8] і [9], яке описує залежність тиску  $p_{\text{нп}}$  насиченої пари від її температури

$$p_{\text{нп}} = 100 \cdot \exp \left[ 2,3026 \cdot \left( \frac{a \cdot t}{t+b} + c \right) \right], \quad (1)$$

де  $t$  – температура газу;

$$a = 7,5;$$

$$b = 237,3;$$

$$c = 0,7858.$$