

## УНІВЕРСАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ ГАЗУ

*У статті розглянуто основні оптичні методи дослідження густини газу та наведено їх переваги й недоліки. Запропоновано універсальну класифікацію оптичних методів дослідження густини газу.*

*In the article the basic optical methods of research of gas closeness are considered and their advantages and failings are resulted. Universal classification of optical methods of research of gas closeness is offered.*

Ключові слова: газ, густина, класифікація.

### Вступ

На сьогодні в багатьох областях техніки використовуються різноманітні методи дослідження фізичних параметрів газу. Вони дають змогу визначити густину й концентрацію, вміст шкідливих домішок, кількісний склад і їх відсоткову частку в різноманітних сумішах. При цьому об'єктом дослідження може бути природний газ, промисловий дим, пари алкоголю або нафтових продуктів, чадний та вуглекислий гази, запилене повітря тощо.

На основі відомих методів дослідження фізичних параметрів газу створено:

- системи протипожежної охорони;
- повітроочисні системи;
- сенсори та системи контролю природного газу;
- сенсори витоку газу;
- побутові та медичні сенсори алкоголю;
- системи контролю вентиляції та кондиціонування (сенсори CO та CO<sub>2</sub>) [1-5].

Одним із основних параметрів газу є його густина або концентрація. На практиці при дослідженні густини газу виникає необхідність вибору методу та відповідного сенсора, оскільки існує широкий спектр специфічних задач їх застосування, виходячи з умов експлуатації. Тому виникає необхідність в класифікації цих сенсорів, яка б повно характеризувала весь клас методів і сенсорів на їх основі. При цьому повинні бути враховані як особливості методів, їх залежність від фізичного процесу, на основі якого вони працюють, так і конкретні реалізації приладів. В зв'язку з цим задача побудови універсальної класифікації методів дослідження густини газу є актуальною.

### Постановка задачі

Існує ціла низка методів визначення густини або концентрації газу. До них відносяться механічний (зважування), газова електронографія, електронний парамагнітний резонанс, ізотопний аналіз [2– 5]. Але найширше на сьогодні застосовуються сенсори густини газу на основі оптичних методів. Це пов'язано з тим, що вони мають ряд важливих переваг – висока точність вимірювання, візуалізація газового потоку та невисока вартість [6]. Згідно класифікацій, які наведені в [10– 15], їх можна розділити на 3 основні групи: засновані на залежності коефіцієнта заломлення світла від густини газу; на поглинанні променевої енергії газом і засновані на післясвітінні молекул газу при електричному розряді. Останні дві групи методів використовуються для дослідження густини газу при низьких тисках. Із методів першої групи використовується метод Теплера та інтерферометричний. В них для вимірювання густини користуються залежністю між густиною газу і коефіцієнтом заломлення світла. Але на сьогодні розроблено ряд нових методів або комбінованих, які об'єднують декілька. Тому метою роботи є аналіз відомих оптичних методів дослідження густини газу та їх класифікація.

### Класифікація оптичних методів дослідження густини газу

Оптичні методи дослідження густини газу засновані на використанні законів оптики, що стосуються природи поширення й взаємодії з речовиною електромагнітного випромінювання оптичного діапазону (видиме світло, ультрафіолетове й інфрачервоне випромінювання). До цих методів відносяться рефрактометричний аналіз, поляриметричний та спектрополяриметричний, нефелометричний та турбодиметричний, інтерференційний, абсорбційний, флуорометричний, спектрофлуорометричний та мікроцитоспектрофлуорометричний [7– 9].

На рис. 1 наведена запропонована класифікація оптичних методів дослідження густини газу.

Рефрактометричний метод є найпростішим оптичним методом дослідження густини газу, який заснований на вимірюванні показника заломлення, із затратою невеликої кількості речовини (0,05– 0,5 г), що аналізується, проводиться за короткий час і має високу чутливість: для газу –  $10^{-7}$ –  $10^{-8}$ , для рідини –  $10^{-4}$ –  $10^{-5}$ . Для цього виконують вимірювання рефракції або показника заломлення світла досліджуваних зразків.

Визначення показника заломлення проводять за допомогою спеціальних приладів – рефрактометрів, які діляться на чотири основні типи: ручний (заснований на явищі повного внутрішнього відбиття); цифровий; лабораторний або рефрактометр Аббе; рефрактометр, на одній лінії з потоком. До недоліків методу можна віднести високу залежність від температури [7].

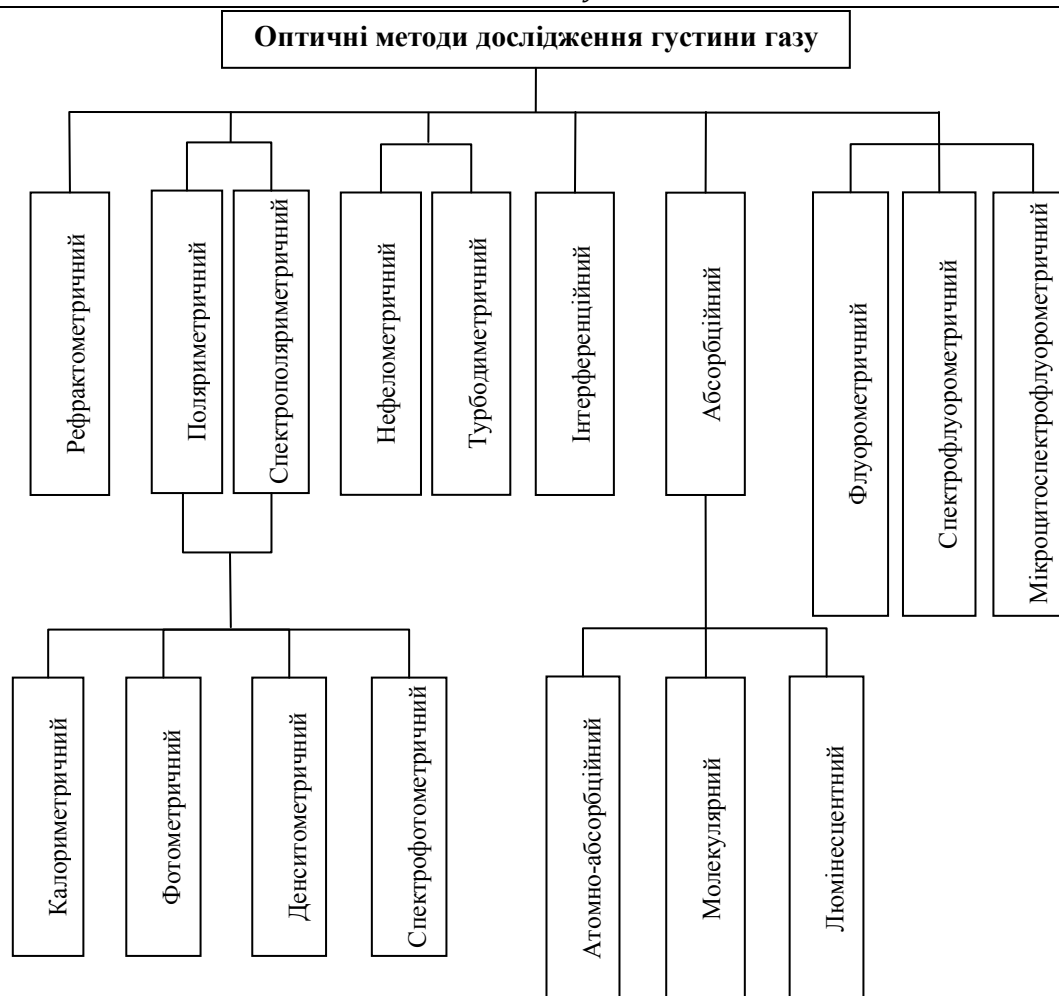


Рис. 1. Оптичні методи дослідження густини газу

Для вимірювання поглинання світла речовиною з метою аналізу складу й структури зразка широко застосовують поляриметричні й спектрополяриметричні методи (колориметрію, фотометрію, спектрофотометрію, денситометрію).

Прилади, що служать для цієї мети, одержали назву колориметрів, фотометрів, спектрофотометрів, денситометрів.

Колориметрія й спектрофотометрія засновані на взаємодії випромінювання з однорідними системами. Вона зменшує трудомісткість та підвищує точність та об'єктивність аналізу. Інтервал вимірювальних концентрацій становить  $10^{-8}$ – $10^{-3}$  моль/л. Конструкція калориметрів визначається умовами вимірювань (в першу чергу, температурним діапазоном) і необхідною точністю. Сучасні калориметри працюють в діапазоні температур від  $-273,16$  °С до більш ніж  $1000$  °С і мають точність до  $0,01$  %.

Фотометричні методи найбільш розповсюджені внаслідок умовної простоти обладнання, високої чутливості і можливості використання для визначення майже всіх елементів як при великих концентраціях ( $20$ – $30$  %), так і мікроконцентраціях ( $10^{-3}$ – $10^{-4}$  %).

Денситометрія є сучасним і точним методом дослідження оптичної густини газу за допомогою рентгенівських променів. Точність методу складає  $5 \cdot 10^{-7}$ . Похибка у відтворенні результатів досліджень не перевищує  $0,4$ – $0,81$  %. Прилади, що працюють на основі цього методу, отримали назву денситометри [14].

Спектрофотометрія – це оптичний метод дослідження густини газу, заснований на вивченні **спектрів** поглинання в ультрафіолетовій ( $200$ – $400$  нм), видимій ( $400$ – $760$  нм) та інфрачервоній ( $>760$  нм) областях спектра. Прилади на її основі дозволяють вивчати характерні спектри поглинання різних речовин і встановлювати їхню хімічну будову й кількісний вміст у розчинах.

Для вимірювання концентрації й вивчення властивостей оптично активних молекул застосовують поляриметри й спектрополяриметри. Поглинання світла речовиною нерідко супроводжується виникненням вторинного випромінювання з меншою довжиною хвилі [15].

Ці методи мають ряд недоліків:

- висока чутливість досягається у вузьких частотних інтервалах;
- дані, які реєструються, не завжди можна пов'язати з конкретним процесом;
- висока вартість;
- низька селективність через можливе накладання спектрів і як наслідок – збільшення похибки.

Нефелометрія заснована на поглинанні й розсіюванні світлової енергії зваженими частинками

речовини, що аналізується. Цей метод досить точний для дослідження складу речовини. В середньому похибка не перевищує 0,5 % і може бути знижена до 0,3 %.

Турбодиметрія широко використовується для проведення експрес-аналізу концентрації в довгохвильовій області спектра (650 нм). Вона дає тільки усереднені дані про склад речовини, що досліджується, але це не завжди є прийнятним. Перевагою методу є його простота. Нижня границя концентрацій, що визначаються, в нефелометрії досягає  $10^{-4}$  %; в турбодиметрії вища – похибка 5– 10 % [13].

Основним недоліком цих методів є великий час реєстрації розсіювання (5– 20 хв.), Це пов'язано з тим, що інтенсивність розсіяного світла залежить від концентрації частинок. Це означає, що його неможливо використовувати в приладах з швидко протікаючими процесами.

Інтерференційний метод дослідження є одним з основних оптичних методів дослідження густини газу. Він заснований на явищі інтерференції та забезпечується цілою низкою інтерферометрів – Маха–Цендера (ділить оптичний сигнал на два пучки з різними оптичними властивостями і об'єднує їх на виході в спільний канал, після чого проходить їх інтерференція), Релея (для визначення показника заломлення для умов близьких до «нормальних», тобто майже рівний одиниці), Жамена (для точного визначення показника заломлення газів при тиску, близькому до атмосферного, коли відповідний показник заломлення відрізняється від одиниці в четвертому-п'ятому знаку після коми) тощо. Похибка методу може змінюватись від 1 % до 17 % [16].

Абсорбційні методи – це методи аналізу, засновані на поглинанні електромагнітного випромінювання речовинами, що аналізуються. При поглинанні світла атоми й молекули речовин переходять у новий збуджений стан. Залежно від їх виду і способу трансформування поглинутої енергії розрізняють атомно-абсорбційний та молекулярно-абсорбційний аналізи, нефелометрію й люмінесцентний аналіз [10].

Атомно-абсорбційний аналіз заснований на поглинанні світлової енергії атомами речовин, що аналізуються. Цей метод характеризується високою швидкодією, простотою виконання та доступністю. Чутливість досягає  $5 \cdot 10^{-7}$ . Відносна похибка аналізу складає 1– 4 % [11].

Молекулярно-абсорбційний аналіз заснований на поглинанні світла молекулами речовини, що аналізуються, й складних іонів в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектра. Він ускладнює проведення якісного аналізу на основі молекулярних спектрів поглинання, тому його зазвичай використовують для кількісного аналізу елементів як при великих концентраціях (20-30 %), так і при мікроконцентраціях ( $10^{-3}$ –  $10^{-4}$ %) [12].

Величина розсіювання світла мікрочастинками, що знаходяться в газі або в рідині, визначається нефелометричним або турбодиметричним методом. Про вміст речовини судять інтенсивності світлового потоку, що розсіюється, зваженими частинками обумовленої речовини (нефелометрія), або поглинання світлового потоку цими частинками (турбодиметрія).

Люмінесцентний аналіз заснований на вимірюванні оптичного випромінювання, що виникає в результаті виділення енергії збудженими молекулами речовини, що аналізується. Для кількісного визначення речовин використовується ділянка спектра від 100 до 600 нм. На практиці для проведення люмінесцентного аналізу багатьох речовин використовують ультрафіолетові промені світла, які одержують в основному за допомогою ртутних ламп. Такий аналіз застосовується для визначення концентрацій до  $10^{-4}$ –  $10^{-8}$  моль/л, тобто для визначення мікрокількостей речовин. Перевагою люмінесцентного аналізу є його висока чутливість. За його допомогою можна визначити до мільйонної частки відсотка речовини, чутливість виявлення яких сягає  $5 \cdot 10^{-7}$ –  $10^{-8}$  % [8].

Люмінесцентний аналіз – якісний і кількісний метод дослідження різних об'єктів, заснований на явищі люмінесценції. Перевага методу – висока чутливість, яка дозволяє ідентифікувати речовину до  $10^{-10}$ –  $10^{-12}$  г. Похибка вимірювання залежить від умов і складає від 1 % до 10 %.

До недоліків вище наведених методів необхідно віднести:

- високу собівартість;
- обмежене число люмінесцентних речовин;
- відсутність можливості кількісних вимірювань при наявності кількох люмінесцентних з'єднань.

Флуориметрія – це визначення концентрації речовини за інтенсивністю флюоресценції, яка виникає при опроміненні речовини ультрафіолетовими променями (10– 400 нм). При певних умовах цим методом можна визначити дуже малі концентрації речовини ( $10^{-4}$ –  $10^{-8}$  моль/л) [15, 16].

### Висновок

В роботі проведено аналіз існуючих оптичних методів дослідження густини газу. Запропоновано їх класифікацію. Описані особливості методів, їх залежність від фізичного процесу, на основі якого вони працюють. Розроблена класифікація висвітлює весь клас методів і сенсорів на їх основі, які використовуються на сьогодні при дослідженні густини газу.

### Література

1. Датчики газа фирмы “SENCERA” [Електронний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://www.filur.net/index.php?mod=art&id=15>
2. Методы исследования [Електронний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу:

<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/120>

3. Электронография [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/138>
4. Электронный парамагнитный резонанс [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/27125>
5. Изотопный анализ [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/129>
6. Измерение воздушных потоков / С. Г. Попов – М.: Энергия, 1947, – 464 с.
7. Оптические методы исследования [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_medicine/21175](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/21175)
8. Классификация оптических методов [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://www.znaytovar.ru/new114.html>
9. Рефрактометрические методы химии / Б. В. Иоффе – Л.: Аврора, 1983, – 450 с.
10. Некоторые задачи и методы экспериментальной аэромеханики / С. Г. Попов – М.: Энергия, 1952, – 632 с.
11. Техника эксперимента в аэродинамических трубах: пер. с англ. / Пэнк-хёрст Р., Холдер Д. – М.: Энергия, 1955, – 236 с.
12. Изучение сверхзвуковых явлений при помощи интерферометра / Ладенбург Р., Винклер Д., Ван-Вурис К. – М.: Энергия, 1951, – 254 с.
13. Техника гиперзвуковых исследований: пер. с англ. / Крилл А. – М.: Энергия, 1964, – 432 с.
14. Аэрофизические исследования сверхзвуковых течений / А. М. Павлюченко, О. А. Брагин – М.: Энергия, 1966, – 632 с.
15. Современная техника аэродинамических исследований при гиперзвуковых скоростях: пер. с англ. / Крилл А. – М.: Энергия, 1965, – 242 с.
16. Методы измерения вибрации [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: [http://5ka.su/ref/nauka/0\\_object69745.html](http://5ka.su/ref/nauka/0_object69745.html)

Надійшла 19.9.2010 р.

УДК 697.922.566

Г.С. РАТУШНЯК, Р.В. СТЕПАНКОВСЬКИЙ  
Вінницький національний технічний університет

## ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

*Стаття присвячена проблемі регулювання аеродинамічних потоків трубопровідних систем. Запропоновано нову конструкцію дросель-клапана з метою вдосконалення регулювання аеродинамічних потоків в системах вентиляції, аспірації та пневмотранспорту. Розроблено експериментальний стенд та проведено експериментальні дослідження роботи нової конструкції дросель-клапана в системі.*

*The article is devoted the problem of adjusting of aerodynamic streams of the pipeline systems. The new construction of choke valve is offered with the purpose of perfection of adjusting of aerodynamic streams in the systems of ventilation, axufflation and pneumatic transport. An experimental stand is developed and experimental researches of work of new construction of choke valve are conducted in the system.*

Ключові слова: дросель-клапан, трубопровід

Створення складних технічних гідросистем ставить перед проектувальниками цілий комплекс завдань різної специфіки. На першому плані в сучасному проектуванні, як відомо, знаходяться вимоги щодо енергозбереження. Найбільш суттєвий вплив на втрати енергії (напору) потоку рідини мають місцеві гідроопори. Складність розрахунків гідроопорів в регулюючих пристроях зумовлена наявністю в них змін швидкості руху, відриву потоку, виникнення вихроутворення та турбулентності [1].

При експлуатації вентиляційних, аспіраційних систем та системи пневмотранспорту виникає необхідність регулювання витрати повітря відповідно до технологічного процесу. Регулювання витрати повітря в повітроводах виконують за допомогою дросель-клапанів, регулюючих пристроїв, засувок та, в деяких випадках, встановленням діафрагм [2]. В системах аспірації та пневмотранспорту встановлення дросель-клапанів, які відіграють роль регулюючих пристроїв, забороняється, так як транспортування повітряного потоку з різного роду домішками приводить до забруднення дросельного пристрою та відповідно розбалансування системи. Застосування регулюючих пристроїв у вигляді звичайних та конусних діафрагм не забезпечує якісне регулювання витрати повітря вентиляційних, аспіраційних систем та системи пневмотранспорту внаслідок неможливості збереження необхідної їх збалансованості під час експлуатації. Це приводить до зменшення енергетичної ефективності даних систем та збільшення енерговитрат виробництва.

Задачею роботи є розроблення заходів щодо вдосконалення процесу регулювання аеродинамічних