

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВІМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 681.5.017:519.87

В. А. Іщенко, асп.;

В. Г. Петрук, д. т. н., проф.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІМІРЮВАНЬ МІКРОКОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ІНТЕГРУВАЛЬНОЇ СФЕРИ

Проаналізовано основні фактори, які впливають на вигляд математичної моделі оптичного сферичного вимірювального перетворювача, який є головним елементом розроблюваної системи для контролю екологічних параметрів мікроклімату газифікованих житлових приміщень. В результаті дослідження отримано значення впливових факторів, при яких забезпечується максимальна чутливість і точність вимірювань.

Однією з основних характеристик будь-якої вимірювальної системи, безперечно, є її точність. Як відомо [1—3], для забезпечення високої точності вимірювань необхідно враховувати вплив усіх можливих факторів на сам процес вимірювання. Але оскільки дослідження усіх факторів на практиці виявляється часто дуже складним, а часом і неможливим завданням, то зазвичай проводять аналіз лише головних, найвпливовіших величин. Дана робота присвячена вивченню впливу основних факторів на процес вимірювання мікроконцентрацій газів у житлових приміщеннях з використанням системи, в основі якої лежить інтегрувальний сферичний перетворювач.

У роботі [1] нами отримано математичну модель оптичного сферичного перетворювача системи вимірювання мікроконцентрацій газів

$$C = -\rho' \frac{S - S_{\text{отв}}}{S} \frac{\ln(I_l/I_0)}{k_n(\nu) \frac{62,36 T}{P} d \cos \alpha \left(1 - \frac{2}{\lg \rho}\right)},$$

де C — концентрація вимірюваного газу; ρ' — коефіцієнт відбиття шару матеріалу, нанесеного на внутрішні стінки сфери; $S_{\text{отв}}$ і S — площа отворів і площа повної поверхні сфери відповідно; I_0 та I_l — відповідно інтенсивність падаючого світла та світла, яке пройшло шлях l ; $k_n(\nu)$ — спектральний коефіцієнт поглинання вимірюваного газу на довжині хвилі з частотою ν (залежить від тиску P і температури T); d — діаметр сфери; α — кут падіння пучка світла на стінки сфери; ρ — ефективний коефіцієнт відбивання внутрішніх стінок сфери.

Тепер, маючи модель, розглянемо, яким чином умови проведення вимірювань із використанням інтегрувальної сфери можуть впливати на інформативний параметр, на інші складові математичної моделі та на процес вимірювання взагалі.

По-перше, очевидно, що зі збільшенням діаметра сфери зростає і довжина шляху пучка світла і, відповідно, тим більше молекул визначуваного газу поглинають випромінювання і виявляють себе. Таким чином можна досягти вищої чутливості. Як видно з рис. 1, максимальне поглинання спостерігається при якомога більшому діаметрі сфери та якнайменшій площі робочих отворів. Втім нескінченно зменшувати розміри отворів неможливо, а найреальнішим на сьогодні значенням є розмір раді-

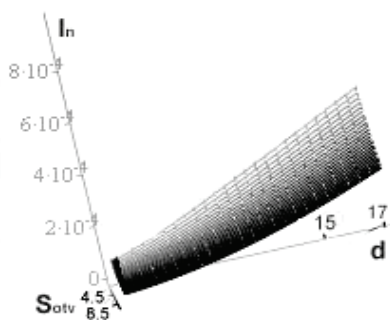


Рис. 1. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n (тут і далі у відносних одиницях) від діаметра сфери d (см) і площі робочих отворів $S_{\text{отв}}$ (см²)

уса одного отвору порядку 5 мм. Що ж стосується діаметра сфери, то тут слід вибирати між підвищенням чутливості системи і її мінімізацією та шукати найоптимальніший баланс.

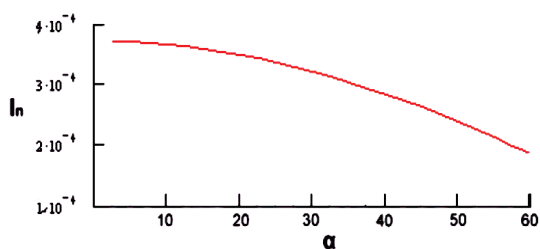


Рис. 2. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від кута α (в градусах) падіння пучка світла на стінки сфери

По-друге, виявлено залежність результату вимірювань від кута α , під яким випромінювання входить до сферичного перетворювача (рис. 2). Із його збільшенням зменшується довжина шляху пучка світла всередині сфери. І тому випромінювання буде менше поглинатись молекулами досліджуваного газу. А, отже, й інтенсивність світла, яке попадає на приймач, буде більшою. У нашому випадку це небажано, оскільки буде зменшуватись частка поглинутого світла (різниця між початковою інтенсивністю і тою, яка потрапляє на приймач). А це призведе до зниження чутливості. Тому при вимірюваннях

краще забезпечувати менший кут α .

Слід зазначити, що на невеликих кутах α особливо помітне збільшення інтенсивності поглинання випромінювання при зростанні діаметра сфери, а при більших кутах поглинання зростає більш плавно (рис. 3).

Тому, по можливості, слід забезпечити таке розташування джерела випромінювання, при якому кут падіння пучка світла на стінки сфери мав би значення менше 25° .

Також із аналізу видно, що збільшення діаметра сфери є практично безрезультатним при малих концентраціях визначуваного газу, оскільки при цьому інтенсивність поглинання випромінювання майже не змінюється (рис. 4).

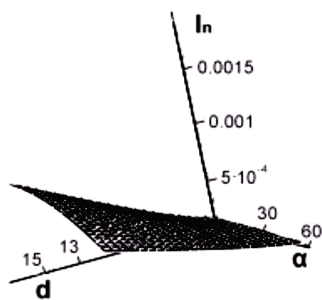


Рис. 3. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від діаметра сфери d і кута α падіння пучка світла на стінки сфери

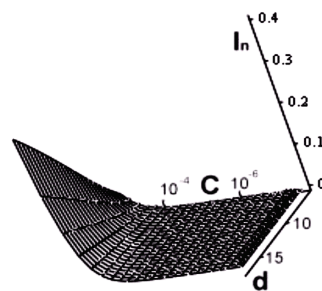


Рис. 4. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від діаметра сфери d і концентрації визначуваного газу C (моль/л)

А вплив діаметра стає помітним лише, починаючи із значення концентрації 10^{-4} моль/л (рис. 5). Аналогічна ситуація, як видно з рис. 6, і з впливом кута α падіння пучка світла на стінки сфери.

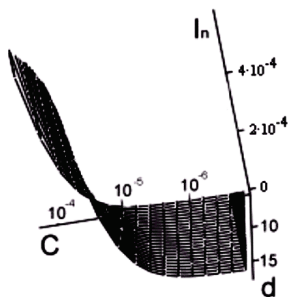


Рис. 5. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від діаметра сфери d і концентрації C (діапазон $10^{-8} - 10^{-4}$ моль/л) визначуваного газу

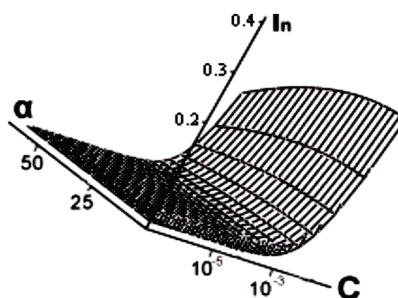


Рис. 6. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від кута α падіння пучка світла на стінки сфери і концентрації C визначуваного газу

Нарешті варто відзначити коливання температури середовища та тиску, що спричиняють зміни у поглинанні світла молекулами досліджуваного газу. Інтенсивність поглинання при зростанні температури зростає (рис. 7), а при збільшенні тиску – падає (рис. 8).

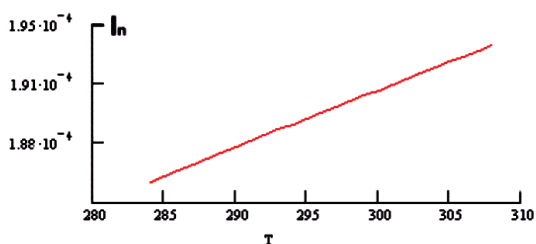


Рис. 7. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від температури середовища T (в °K)

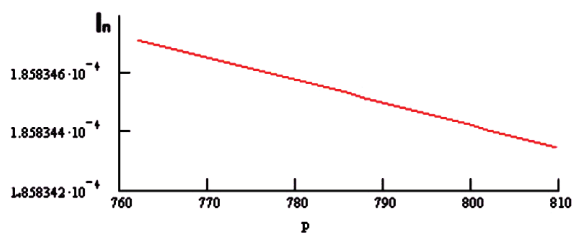


Рис. 8. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від тиску середовища P (в мм рт. ст.)

Втім, вплив даних параметрів є незначним у порівнянні із впливом інших складових математичної моделі. Особливо це стосується тиску середовища, коливання якого викликають зміну інтенсивності випромінювання на декілька порядків меншу, ніж, наприклад, зміна кута падіння пучка випромінювання на стінки сфери. Однак у будь-якому випадку врахування і тиску, і температури є важливим для забезпечення високої точності і чутливості вимірювань.

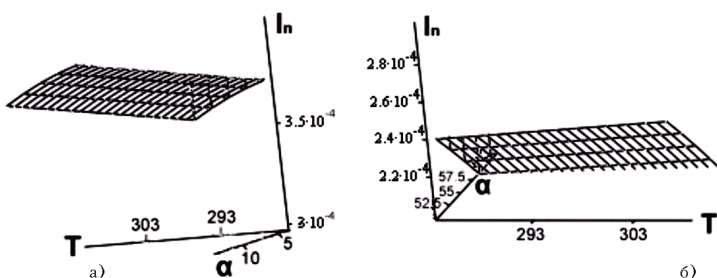


Рис. 9. Залежність інтенсивності поглинутого світла I_n від кута α падіння пучка світла на стінки сфери і температури T середовища: а) при малих кутах α ; б) при великих кутах α

Із рисунка 9 видно, що температура середовища помітніше впливає на значення інтенсивності випромінювання на менших кутах α . Це слід мати на увазі під час проведення вимірювань.

Якщо проаналізувати вплив решти параметрів математичної моделі, то можна побачити, що їх вплив на інтенсивність випромінювання залишається майже без змін при різних температурах і тисках, оскільки корекції, які вносяться останніми, є незначними.

Таким чином, проаналізовано основні фактори, що впливають на процес вимірювання концентрації газів з використанням інтегрованої сфери. На основі проведеного дослідження можна зробити кілька висновків.

Так, для забезпечення максимальної чутливості системи вимірювання краще проводити, маючи якомога більший діаметр оптичного сферичного перетворювача. Однак величина його обмежується вимогами до загальної компактності системи. Даний підхід актуальний при визначенні мікроконцентрацій газів (10^{-4} моль/л і менше). Якщо ж концентрація досліджуваного газу складає близько 10^{-3} моль/л і вище, то невеликі зміни діаметра практично не впливатимуть на інтенсивність випромінювання у порівнянні з інформативним сигналом.

Також слід забезпечити невеликий кут падіння пучка випромінювання на стінки сфери за рахунок відповідного розташування джерела випромінювання або забезпечення належної конструкції системи.

Що ж стосується тиску і температури середовища, то їх вплив настільки незначний, що зміна цих параметрів фактично не впливає на чутливість системи. Тому коливання даних складових варто враховувати у нашій моделі лише для забезпечення точності вимірювань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коренман И. М. Аналитическая химия малых концентраций. — М.: Химия, 1966. — 168 с.
2. Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ (теорія і практика оптичного вимірювального контролю): Монографія. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. — 207 с.
3. Современные спектрометрические методы газового анализа/ Николаев А. Н. — М.: Госкомитет стандартов СССР, 1978. — 68 с.
4. Іщенко В. А., Петрук В. Г. Розробка математичної моделі оптичного сферичного перетворювача // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика-2006». Тези доповідей, м. Вінниця, 25—28 вересня 2006 р. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. — С. 168.

Іщенко Віталій Анатолійович — аспірант; **Петрук Василь Григорович** — завідувач кафедри.

Кафедра хімії та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет