

В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; О.М. Васілевський, д.т.н., проф.;
П.І. Кулаков, д.т.н., проф.; І.А. Дудатьєв, к.т.н, ст. викл.

ЗАСІБ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ

Ключові слова: засіб контролю, сенсори, котельні установки.

Основна частина. Для визначення довжин налаштування фотоприймачів у засоби контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок проведемо аналіз спектрів поглинання газів [1], що є продуктами згорання котельної установки.

Димові гази котельних установок, середньоочікувана концентрація яких вища за 0.1% об. та їх основні коливально-обертальні характеристики представлено на рис. 1.

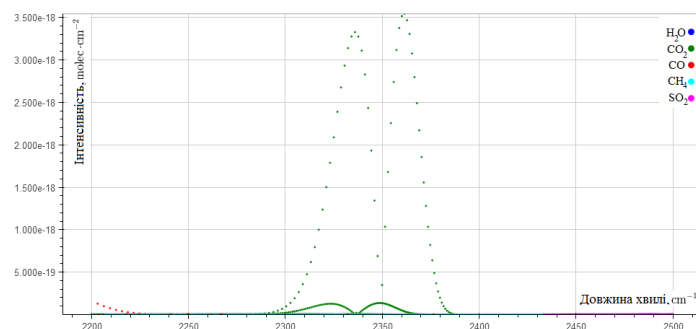


Рис. 1. Спектр поглинання компонентів димових газів котельних установок у діапазоні 4 – 4.5 мкм

З аналізу спектрів зроблено висновок, що найактивніша область знаходиться в межах 2200-2500 cm^{-1} . На рис. 1. представлено поглинання основних компонентів димових газів котельних установок у діапазоні 4 – 4.5 мкм (2200 – 2500 cm^{-1}).

Як видно з аналізу спектрів поглинання основних димових газів котельних установок практично всі смуги поглинання знаходяться поруч одна до одної (в деяких випадках накладаються). До того ж, пари води які присутні у газах, займають широкий спектр довжин смуг поглинання. Тому необхідною умовою є не лише вибір довжин поглинання газів таким чином, щоб вони не накладались один на одного, а і використовувати високоточні джерела випромінювання і приймачі (ширина роботи спектру яких не дозволяє потрапляння “сусідніх” газів). Після аналізу довжин поглинання димових газів необхідно за вже відомими вхідними даними обрати інфрачервоні випромінювачі і приймачі.

Таким чином, можна визначити параметри фотодіодів та фотоприймачів, при цьому було враховано взаємоперетин ліній поглинання. Тобто контрольні точки для кожного газу виглядають таким чином, що поруч немає ліній поглинання інших газів, що могли б вплинути на результати вимірювань.

Графічне моделювання фрагменту бази даних HITRAN представлено на рис. 2.

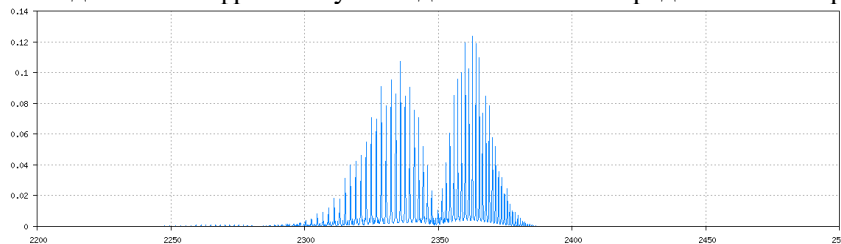


Рис.2. Фрагменту бази даних HITRAN

Як видно з рис. 2, спектр поглинання двоокису вуглецю в заданому діапазоні має складну структуру за рахунок накладання спектрів газів які входять до його складу, тому коефіцієнт поглинання $k(\lambda)$ смуги виразимо сумою коефіцієнтів поглинання окремих ліній

$$k(\lambda) = \sum_i \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_0}\right)^2}, \quad (1)$$

де S – інтенсивність смуги поглинання; λ_i та λ_0 – довжина та центр смуги поглинання; σ – ширина смуги поглинання.

Для розрахунку величини поглинання в інтервалі 4,1 – 4,3 мкм (2300-2400 см⁻¹) використовувалась аналітична модель спектрального розподілу коефіцієнтів поглинання газу, розрахована на основі таблиць інтенсивності ліній $S(\lambda_0)$ випромінювання газів в зазначеному спектральному діапазоні, що відповідає наступним наближенням:

1. Спектр коефіцієнта поглинання газу описується сумою розподілів Лоренца з різними λ_0 і $S(\lambda_0)$, але однаковими значеннями σ_L .

2. Спектри коефіцієнтів поглинання всіх газів задаються в спектральній смузі 2300-2400 см⁻¹ (довжини хвиль випромінювання 4,1 – 4,3 мкм) з кроком 0,01 см⁻¹. Виконання цієї умови необхідно для зручності аналізу сумішей газів і врахування впливу впливних газів.

3. У моделі враховуються тільки лінії, що мають інтенсивність $S \geq 0,1$ [см·атм] при нормальних умовах вимірювання.

Модель ослаблення випромінювання в середовище димових газів котельних установок представлена на рис. 3.

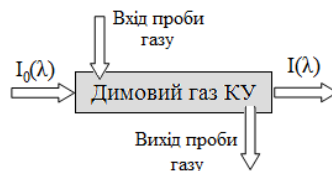


Рис. 3. Модель ослаблення випромінювання в середовище димових газів котельних установок

На основі закону Бугера-Ламберта-Бера отримано математичну модель, яка описує процес ослаблення випромінювання в оптичному вимірювальному перетворювачі та враховує основні фактори, які пов'язані з особливостями об'єкту контролю, що впливають на її коректність

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\int_0^l k_s(\lambda) d\lambda} = I_0 \cdot e^{-\frac{\sigma}{\pi} \cdot \frac{C}{M} \cdot \frac{-0,0083T}{P_0 e^{\frac{M_m \cdot g \cdot h}{RT}} - P_{розр.}}} \cdot l}, \quad (2)$$

де I_l – інтенсивність випромінювання, яке пройшло через досліджуваний газ; I_0 – початкова інтенсивність випромінювання; M_m – молярна маса сухого повітря (0,029 моль); g – прискорення

вільного падіння; h – висота, яка є сумою висоти димової труби та поверхні її основи над рівнем моря; C – концентрація газу (мг/м³); l – довжина шляху поглинання; σ – ширина смуги поглинання; M – молярна маса досліджуваного газу; T – температура димового газу; R – універсальна газова стала; P_0 – тиск на рівні моря; $P_{розр.}$ – тиск розрідження.

Результати моделювання рівняння (2) представлені на рис. 4.

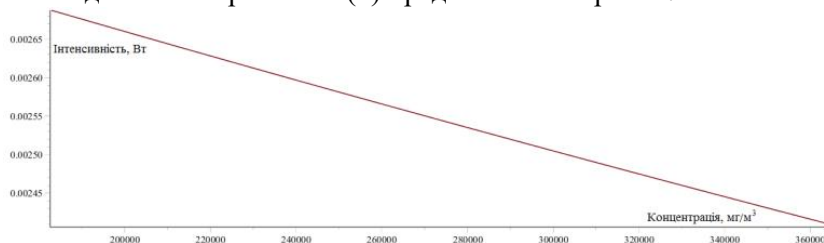


Рис. 4. Моделювання залежності концентрації димового газу від інтенсивності

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение / Смит А. — М.: Мир, 1982. — 328 с.