

МОДЕЛЮВАННЯ ВИМІРЮВАНЬ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ ДЛЯ УМОВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ДОНБАСУ

Вовна О.В., Хламов М.Г.

Донецький національний технічний університет,
кафедра електронної техніки
E-mail: Vovna_Alex@ukr.net

Вступ. Одним з основних напрямів «Програми науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020 року» передбачено нарощування видобутку вугілля на основі технічного переозброєння вугільних шахт і впровадження прогресивної технології. Рішення цієї задачі пов'язане з подальшим підвищенням концентрації гірських робіт і інтенсифікацією процесу вуглевидобування, а також з прискореним переходом забоїв на глибші горизонти. Із зростанням глибини розробок збільшуватимуться газоносність вироблень, температура пластів і вміщуючих порід, а також частота і інтенсивність газодинамічних проявів.

Для вирішення питань створення безпечних умов праці гірників у поєднанні із зростаючою потребою у видобутку вугілля на пластах, небезпечних по раптових викидах вугільного пилу і газу, необхідне детальне вивчення газодинамічних явищ, що неможливе без широких експериментальних досліджень, що спираються на ефективні робочі засоби виміру. Серед таких засобів важливе місце займають швидкодіючі інформаційно-вимірювальні системи отримання даних про процеси зміни концентрації метану в атмосфері підземних вироблень вугільних шахт.

Отримані результати досліджень [1] дозволяють визначити початкові данні для розроблення швидкодіючого вимірювача концентрації метану системи газового захисту вугільної шахти:

– величину установки по метану слід приймати в 2 рази менше нижньої межі вибухонебезпеки метану – 2,5 %;

– значення допустимого часу спрацьовування і відключення електроенергії складає 0,8 с [2] по об'ємній частці метану і 2,0 с при швидкодії наростання концентрації метану 0,5 % в секунду.

Постановка задачі проектування. Для побудови швидкодіючого вимірювача об'ємної концентрації метану в умовах вугільних шахт необхідно вирішити наступні основні завдання:

– розробити математичну модель спектру поглинання метану в інфрачервоної області спектру;

– розробити імітаційну математичну модель оптичних і аналітичних каналів інфрачервоного оптико-абсорбційного газоаналізатора для визначення концентрації метану у вугільних шахтах;

– розробити на основі отриманих результатів імітаційного моделювання багатоканальні мікропроцесорні інфрачервоні оптико-абсорбційні газоаналізатори для контролю об'ємної концентрації метану, що відповідають вимоги європейських стандартів для умов вугільних шахт Донбасу.

Рішення задач і результати дослідження. Метод, покладений в основу побудови швидкодіючих інформаційно-вимірювальних систем вимірювання об'ємної концентрації метану, заснований на здатності атмосферних газів вибірково поглинати інфрачервоне випромінювання в спектральній області, і відноситься до бездисперсійних методів абсорбційної спектроскопії.

Відповідно до експериментальних даних про молекулярне поглинання спектр поглинання метану має складну структуру. Для ІЧ-області характерні так звані коливально-обертальні смуги поглинання, що є послідовностями ліній поглинання, контур кожною з яких визначається міжмолекулярними зіткненнями і описується виразом [3]:

$$K_i(\nu) = \frac{a_i}{\pi} \cdot \frac{\delta_i}{(\nu - \nu_{0i})^2 + \delta_i^2}, \quad (1)$$

де $a_i = \int_0^{\infty} K_i(\nu) d\nu$ – інтегральна інтенсивність і-ої лінії; $\delta_i = 0,18 \text{ см}^{-1}$ – напівширина обертальної лінії; ν_{0i} – центр лінії.

Спектр структури носить характер довго- і короткохвильових не повністю симетричних крил при центральній обертальній складовій коливально-обертальні смуги поглинання, що є послідовностями ліній поглинання, контру кожною з яких визначається міжмолекулярним зіткненням і описується коефіцієнтом поглинання $K(\lambda)$ смуги, який виражається сумою коефіцієнтів поглинання окремих ліній:

$$K(\nu) = \sum_{i=1}^{\infty} K_i(\nu) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i}{\pi} \cdot \frac{\delta_i}{(\nu - \nu_{0i})^2 + \delta_i^2}. \quad (2)$$

Перетин поглинання для найбільш інтенсивних ліній молекулярного метану в області 3,31 мкм складає близько $1,8 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2/\text{молекула}$. Для обчислення інтегральної інтенсивності лінії, цю величину потрібно помножити на число Авогадро ($6,022142 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$, число частинок (атомів, молекул, іонів) в 1 молі речовини). Таким чином, інтегральна інтенсивність, визначається у відповідності:

$$a_i = K(\nu_i = \nu_{0i}) \cdot \pi \cdot \delta_i \cdot N_A, \left[\frac{\text{см}}{\text{моль}} \right]. \quad (3)$$

Для спрощення розрахунків [3] була розглянута модель смуги поглинання, в якій рівновіддалені лінії рівної δ мають розподіл інтенсивності в кожній з гілок смуги, відповідне розподілу молекул по обертових рівнях енергії. На рис. 1 приведені графіки функції, обчислені для смуги поглинання метану з використанням прийнятої моделі.

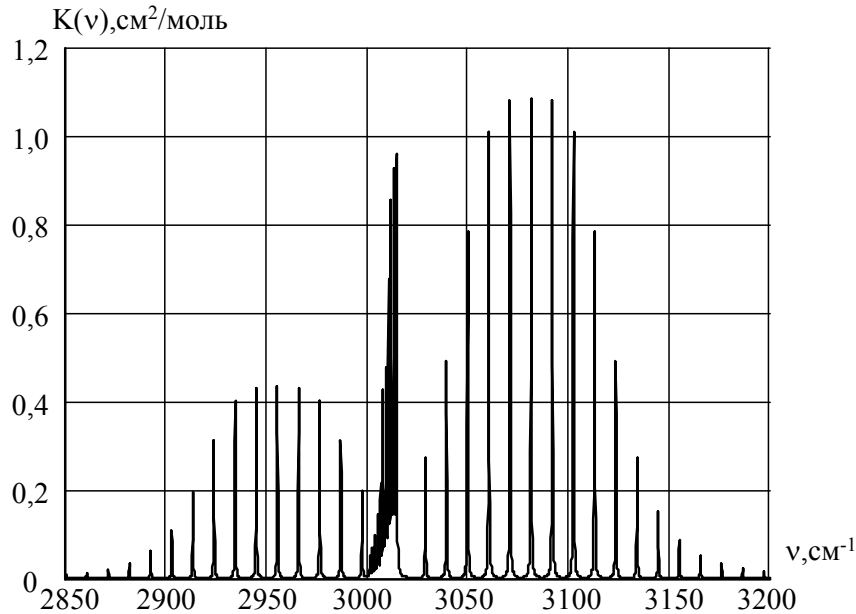


Рис. 1 – Спектр поглинання метану

У загальному вигляді, поглинання випромінювання в газі описується законом Бугера-Ламберта-Бера, який пов'язує поглинання зразка з його товщиною і концентрацією досліджуваного компонента газової суміші і записується в наступному вигляді:

$$-\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = K(\nu) \cdot C \cdot l = D(C, l, \nu), \quad (4)$$

де I_0 – інтенсивність або енергія падаючого випромінювання, I – інтенсивність минулого випромінювання, C – концентрація активної компоненти речовини, що поглинає випромінювання; l – одиниця товщини (довжина траси, кювети); $K(\nu)$ – показник поглинання; $\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$ – зазвичай називають оптичною щільністю речовини D .

При вимірюванні об'ємної концентрації метану $C_{об\%}$, [об %] потрібно скористатися формулою перерахунку з об'ємної концентрації газового компонента в молярну концентрацію C_M , $\left[\frac{\text{моль}}{\text{см}^3} \right]$:

$$C_M(C_{об\%}, T, P) = \frac{C_{об\%} \cdot P}{100 \cdot R \cdot T} \cdot 10^{-6} = \frac{16,04 \cdot 10^{-8} \cdot C_{об\%} \cdot P}{T}, \quad (5)$$

де P – загальний тиск газової суміші в Па; T – температура в $^{\circ}\text{K}$; $R = 8,314472$ – універсальна газова постійна в Дж/(моль·К).

Таким чином, оптичну щільність об'ємної концентрації метану можна розрахувати, скориставшись співвідношенням:

$$D(C_{об\%}, l, T, P, \nu) = K(\nu) \cdot C_M(C_{об\%}, T, P) \cdot l. \quad (6)$$

Коефіцієнт передачі оптичного каналу – K_{OK} (див. рис. 2), можна представити наступною залежністю:

$$K_{OK}(C_{об\%}, l, T, P, \nu) = e^{-D(C_{об\%}, l, T, P, \nu)}. \quad (7)$$

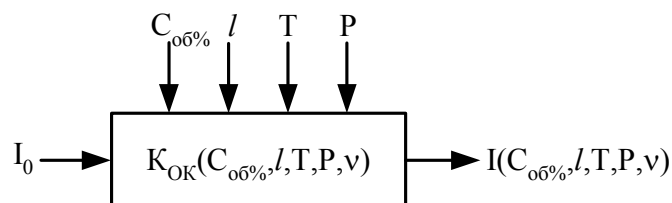
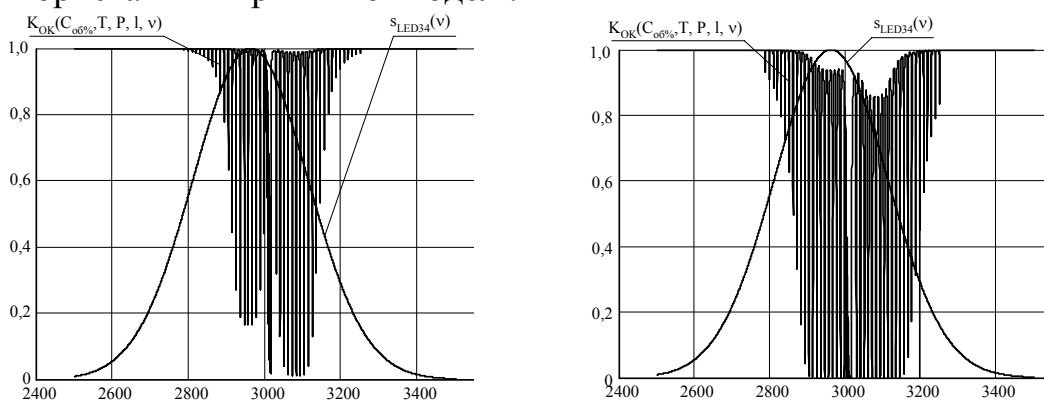


Рис. 2 – Коефіцієнт передачі оптичного каналу

Як джерело інфрачервоного випромінювання застосовується світловипромінювальний діод LED34 [4] з довжиною хвилі випромінювання 3,35 мкм. Нормована спектральна характеристика світловипромінювального діода LED34 при температурі + 22 $^{\circ}\text{C}$ приведена на рис. 3. Також на рис. 3 приведені графіки функції коефіцієнта передачі оптичного каналу, обчислені для вибраної смуги поглинання метану з використанням прийнятої моделі.



$$C_{об\%} = 0,1 об\%$$

$$C_{об\%} = 1,25 об\%$$

Рис. 3 – Коефіцієнта передачі оптичного каналу $K_{OK}(C_{об\%}, l = 100 \text{ см}, T = 293^{\circ}\text{K}, P = 101325 \text{ Па}, \nu)$ і нормована спектральна характеристика LED34 при температурі + 22 $^{\circ}\text{C}$

У імітаційній математичній моделі, що розробляється, врахована переважна більшість чинників, що впливають на проходження інфрачервоного випромінювання по кюветах газоаналізатора. Оптична неоднорідність каналу викликана застосуванням в каналі матеріалів з різними оптичними властивостями. Оптична неоднорідність враховується коефіцієнтами заломлення. Втрати випромінювання на межах розділу і в середовищах з різними коефіцієнтами заломлення враховуються коефіцієнтами віддзеркалення і пропускання межами розділу, розсіяння і поглинання випромінювання в цих середовищах.

У цій роботі такі середовища виступають оптичні лінзи, що виготовляються із спеціальних матеріалів: спеціальних сортів оптичного скла, природних і синтетичних кристалів. Дані лінзи вважаються тонкими (їх товщина і діаметр багато менше фокусних відстаней) в зв'язку, з чим втратами на розсіяння і поглинання можна нехтувати. З цієї ж причини вважатимемо, що потоки випромінювання падають на межі розділу середовищ по нормалі до поверхні розділу.

У діапазоні малих кутів падіння проміння на межу розділу, коефіцієнт віддзеркалення практично залишається постійним величиною. Тому мале відхилення кута падіння на межу розділу обумовлене кривизною лінзи практично не впливає на коефіцієнт віддзеркалення. Джерело випромінювання має кінцеві розміри і потік, що виходить з лінзи виявляється таким, що розходить, тому при визначенні коефіцієнта введення випромінювання в об'єктив враховується кут розбіжності проміння.

На основі приведеної математичної моделі побудована імітаційна модель вимірювача об'ємної концентрації метану, що враховує вплив комплексу обурюючих чинників, і запропоновані технічні рішення, що забезпечують підвищення точності і оперативності отримання вимірювальної інформації. Принциповим є конструкторське рішення, що реалізовує методи побудови вимірювача, які забезпечують вимірювання середнього значення концентрації метану, по довжині вимірювальної траси.

При цьому проблема впливу пилу в робочому вимірювальному каналі на результати вимірювання вирішується методами компенсації шляхом введення апаратної надмірності. Для компенсації впливу рудничного пилу на результат вимірювання концентрації метану у вимірювачі введені два просторових і в них по два частотні канали [5].

Висновки.

1. Розроблена математична модель спектру поглинання метану в інфрачервоної області спектру.
2. Розроблена імітаційна математична модель оптичних і аналітич-

них каналів інфрачервоного оптико-абсорбційного газоаналізатора для визначення концентрації метану у вугільних шахтах;

3. Методи математичного і імітаційного моделювання, а також сучасні оптичні і мікроелектронні засоби дозволяють розробити багатоканальні мікропроцесорні інфрачервоні оптико-абсорбційні газоаналізатори для контролю об'ємної концентрації метану, що відповідають вимогам європейських стандартів для умов вугільних шахт Донбасу.

Література.

1. Волошин Н.Е. Внезапные выбросы и способы борьбы с ними в угольных шахтах. – Киев.: Техника, 1985. – 127 с.

2. ГОСТ 24932–80. Приборы шахтные газоаналитические. Общие технические требования. Методы испытания.

3. Бреслер П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение. Л.: Энергия, 1980. – 164 с.

4. Ioffe Physico-Technical Institute [Електронний ресурс] / Mid-IR Diode Optopair Group (MIRDOG), Dr. Boris Matveev, Web: Maxim Remennyi. – Електронні дані, Режим доступу: <http://mirdog.spb.ru>. – Загл. з екрану. – Мов. рос. англ.

5. Вовна А.В., Хламов М.Г. Алгоритм компенсации влияния пыли на точность измерения концентрации метана в угольной шахте. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» Випуск 107. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – 164 – 170 с.

Отримано 14.05.07