

УДК 681.7.068:681.7:543.27.08

В. Ф. Яремчук, канд. техн. наук, доц.; С. М. Смішний, асп.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Запропоновано перетворювач концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу. За допомогою макет-установки перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем проведено експериментальні дослідження з визначення концентрації метану на довжині хвилі власного поглинання $\lambda = 1331...1332$ нм.

Вступ

Використання волоконно-оптичних систем для побудови перетворювачів концентрації газу зумовлює цілу низку переваг у порівнянні з традиційними вимірювальними перетворювачами. Наприклад, з'являється можливість проведення вимірювань у важкодоступних і віддалених місцях, вимірювання у вибухонебезпечних зонах, у зонах де присутні токсичні, агресивні і отруйні гази, у разі дії іонізуючого випромінювання та ін. Оперативний збір інформації щодо концентрації газу з однієї чи декількох точок робочих зон одночасно, а також у випадку індивідуального контролю заданого газу у зоні перебування, безпосередньо підвищує рівень безпеки. Оптично-енергетичні параметри оптичних волокон та вузлові елементи волоконної оптики дозволяють реалізовувати перетворювач концентрації певного газу в повітрі, вартість якого сумірна з вартістю звичайних волоконно-оптичних ліній зв'язку. Одним з найнебезпечніших газів, з яким працюють та використовують, є метан. Оскільки метан є вибухонебезпечним та одночасно отруйним газом, тому його виявлення та контроль концентрації є завжди актуальним питанням.

Метою роботи є проведення експериментальних досліджень перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу.

Основна частина

Робота досліджуваного перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу, запропонованого у роботі [1].

За допомогою макет-установки перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, виготовленої за функціональною схемою, показаною на рис. 1, проведено експериментальні дослідження з визначення концентрації метану на довжині хвилі власного поглинання $\lambda = 1331...1332$ нм. Як джерело випромінювання використано волоконно-оптичний модуль

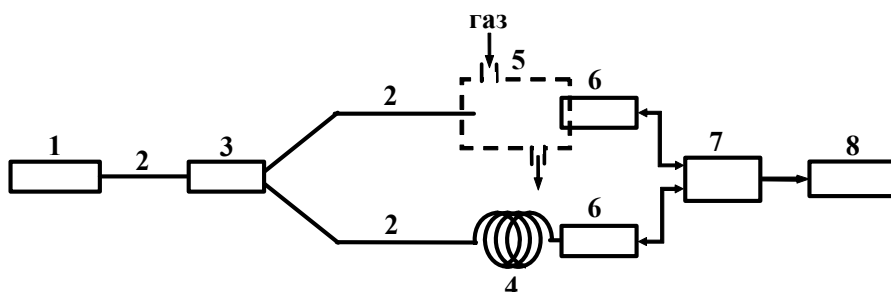


Рис. 1. Функціональна схема перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем (оптично-абсорбційний метод): 1 – джерело випромінювання; 2 – світловід; 3 – оптичний розгалужувач; 4 – світловід; 5 – вимірювальна кювета (відкритий канал); 6 – приймачі випромінювання; 7 – реєструвальний пристрій; 8 – блок обробки інформації

LFD-14/1330-і, виготовлений на основі InGaAsP/InP DFB лазерного діода, з високою стабільністю випромінювання і потужністю на виході оптичного волокна 1,5–3 мВт та максимумом випромінювання на довжині хвилі $\lambda = 1331...1332$ нм. [2]. Приймачем інфрачервоного випромінювання слугує InGaAs PIN фотодіод (ТМС-1С31-000). Використано світловоди із стандартною довжиною хвилі пропускання $\lambda_c = 1310$ нм. Волоконно-оптичний розгалужувач 1×2 (Y подібний) з розподілом енергетичного потоку 50 % : 50 %. Довжина світловода 4 становить 10 м. Вимірювання проводилися у разі включення фотодіодів у фотогальванічному режимі.

Вимірюються потоки випромінювання, що проходять від джерела випромінювання через два робочих канали. Одним робочим каналом слугує вимірювальна кювета (відкритий канал) з газом, що аналізується, з вбудованим на виході приймачем випромінювання, другим робочим каналом (опорним) є волоконно-оптична лінія. З попаданням випромінювання на відповідні приймачі, потоки створюють на їх виходах зміну напруг, яка, в свою чергу, пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Формула для визначення концентрацій газу матиме вигляд [3]

$$C_{x1} = \frac{1}{-\alpha_1 l_1} \ln \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}, \quad (1)$$

де C_{x1} – концентрація газу, що аналізується; α_1 – коефіцієнт поглинання газу, що аналізується і залежить від ступеня узгодження спектрів поглинання газу, спектральної характеристики джерела інфрачервоного випромінювання і спектральної чутливості приймача інфрачервоного випромінювання; l_1 – довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) 5; ΔU_1 , ΔU_2 – зміна напруг при попаданні на приймачі потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету і опорний канал з довжинами l_1 , l_2 відповідно, з урахування шумів усієї вимірювально-перетворювальної системи оптичного сигналу (в плечах, відповідно).

З рівняння (1) випливає, що для значення $C_{x1} = 0 \Rightarrow \ln \left(\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \right) = 0$, тобто $\Delta U_1 = \Delta U_2$.

Оскільки сигнал ΔU_1 вимірюється в плечі, що містить вимірювальний канал (газове середовище з довжиною l_1), а сигнал ΔU_2 вимірюється в плечі, що містить волоконно-оптичну лінію, в якій нехтують втратами потоку випромінювання, та оскільки плечі містять однаково інші оптичні елементи, то ΔU_1 завжди буде менше ΔU_2 , якщо $C_{x1} = 0$. Тому, для зрівноваження плечових сигналів за концентрації $C_{x1} = 0$ та отримання опорного сигналу для визначення концентрації газу за формулою (1), введемо коефіцієнт Λ : $\Delta U_1 = \Lambda \Delta U_2|_{C_{x1}=0}$, тоді (1) матиме вигляд

$$C_{x1} = \frac{1}{-\alpha_1 l_1} \ln \left(\frac{\Delta U_1}{\Lambda \Delta U_2} \right). \quad (2)$$

Одним із основних параметрів перетворювачів концентрації метану є визначення значення концентрації на рівні НПВ – нижнього порогу вибуховості, що відповідає 5 %об. Тому, отримано залежність вихідного сигналу ΔU_1 робочого каналу з вимірювальною кюветою від концентрації метану C_{x1} в діапазоні від 0 до 5,3 %об., рис. 2. З аналізу експериментальних даних визначено числове значення $\alpha_1 = \alpha_{II}$, що визначає криву калібрування для визначення значення концентрації метану, що характеризує саме цей перетворювач з такими характеристиками у спектральному відношенні джерела випромінювання до спектра поглинання газу, спектральної чутливості використаного приймача інфрачервоного випромінювання до спектра джерела випромінювання та спектра поглинання газу, що аналізується, тобто α_{II} є сталою приладу. Значення опорного сигналу визначене за концентрації $C_{x1} = 0$ %об. з урахуванням можливих втрат в комірці.

Чутливість перетворювача $S_{0-5,3}$ в діапазоні від 0 до 5,3 %об. складає 0,3028 мВ/%об. або 302,8 мкВ/%об. В процесі вимірювання вихідного сигналу ΔU_1 робочого каналу, що містить вимірювальну кювету, до 0,01 мВ мінімальна визначена концентрація такого перетворювача із заданими параметрами становить 0,03276 %об., що відповідає 0,655 % НПВ.

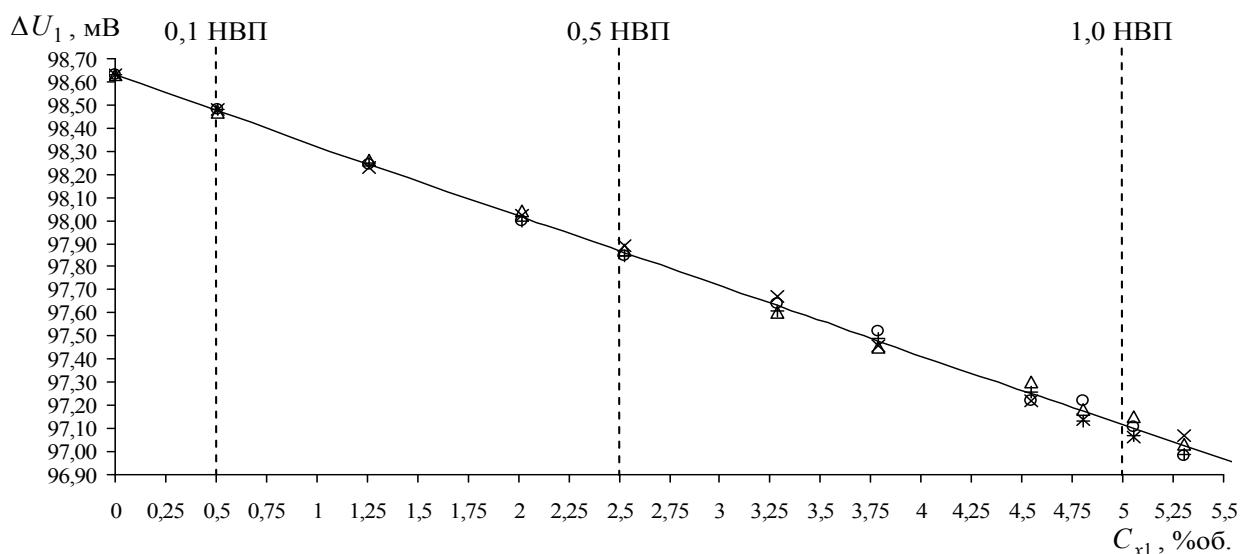


Рис. 2. Залежність вихідного сигналу робочого каналу від концентрації метану, якщо довжина вимірювальної комірки $l_1 = 350$ мм, тиск — 760 мм.рт.ст., температура — 296,5 К; серії вимірювань:

1 — +; 2 — o; 3 — x; 4 — Δ; — — калібрувальна крива

На рис. 3. показано графік залежності оптичної густини вимірювального каналу D , що комплексно характеризує середовище, від концентрації метану C_{x1} в діапазоні від 0 до 5,3 %об., де

$$D = -\ln\left(\frac{\Delta U_1}{\Lambda \Delta U_2}\right). \quad (3)$$

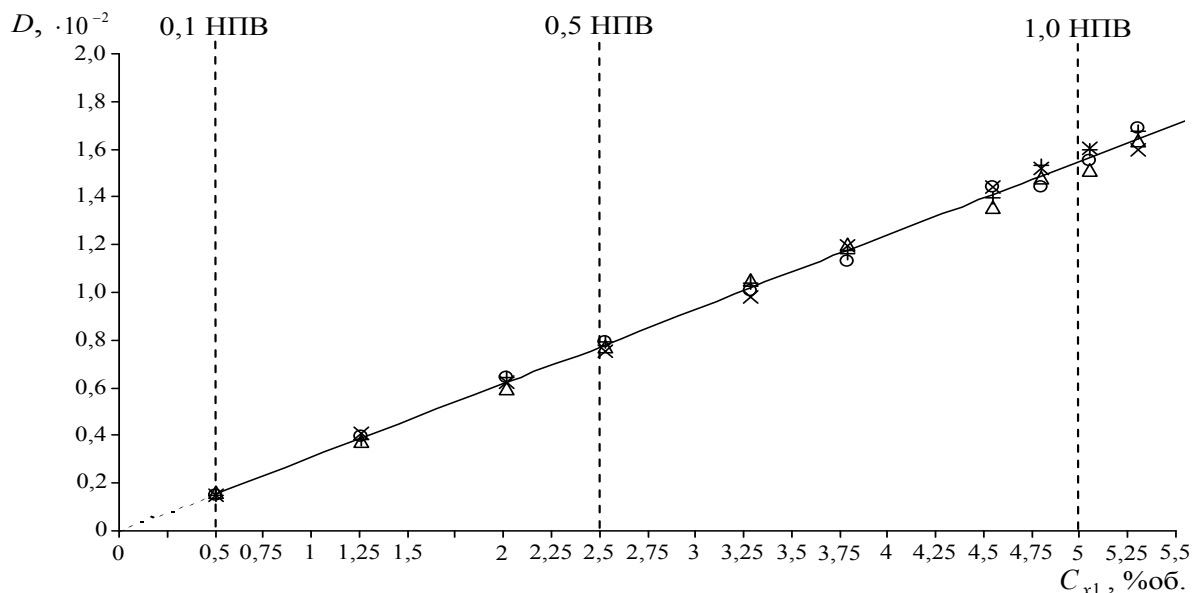


Рис. 3. Залежність оптичної густини вимірювального каналу D від концентрації метану C_{x1} , якщо довжина вимірювальної комірки $l_1 = 350$ мм, тиск 760 мм.рт.ст., температура 296,5 К

На рис. 4. показано графік залежності коефіцієнта пропускання оптичного каналу T від концентрації метану C_{x1} в діапазоні від 0 до 5,3 %об., де

$$T = \frac{\Delta U_1}{\Lambda \Delta U_2} \cdot 100\%. \quad (4)$$

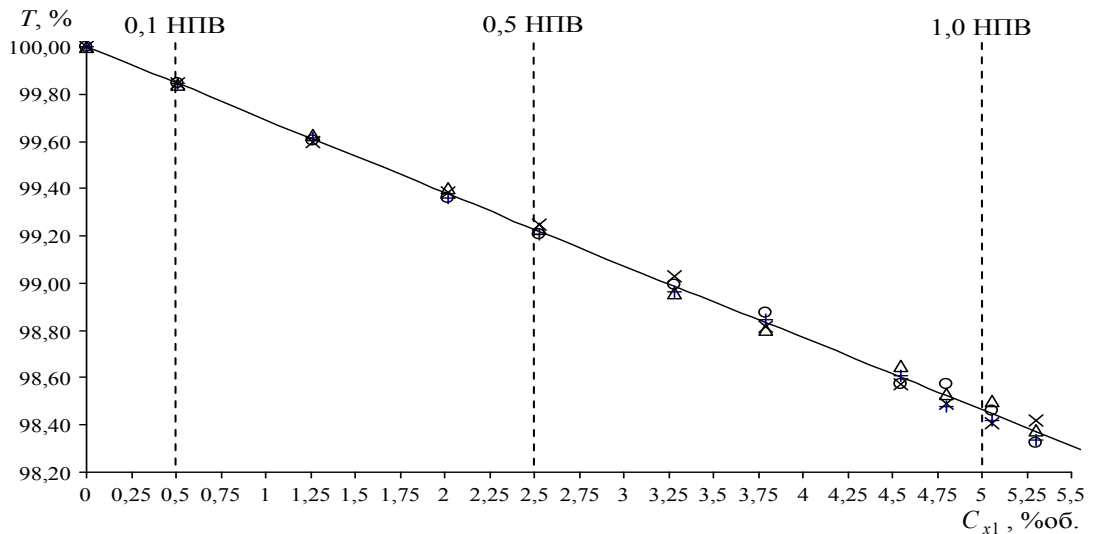


Рис. 4. Залежність коефіцієнта пропускання оптичного каналу T від концентрації метану C_{x1} , якщо довжина вимірювальної комірки $l_1 = 350$ мм, тиск 760 мм.рт.ст., температура 296,5 К

Висновки

Запропоновано перетворювач концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу. За допомогою макету установки перетворювача концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем проведено експериментальні дослідження з визначення концентрації метану на довжині хвилі власного поглинання $\lambda = 1331...1332$ нм.

Отримано залежність вихідного сигналу ΔU_1 робочого каналу з вимірювальною кюветою від концентрації метану C_{x1} в діапазоні від 0 до 5,3 % об., а також залежності оптичної густини вимірювального каналу $D(C_{x1})$ та коефіцієнта пропускання оптичного каналу $T(C_{x1})$ від концентрації метану. З аналізу експериментальних даних визначено числове значення α_{II} (сталу приладу), що визначає криву калібрування для визначення значення концентрації метану, що характеризує саме даний перетворювач. Чутливість перетворювача $S_{0-5,3}$ в діапазоні від 0 до 5,3 % об. складає 0,3028 мВ/% об. або 302,8 мкВ/% об.

В процесі вимірювання вихідного сигналу ΔU_1 робочого каналу, що містить вимірювальну кювету, до 0,01 мВ мінімальна визначена концентрація такого перетворювача із заданими параметрами становить 0,03276 % об., що відповідає 0,655 % НПВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексеев В. А. Опыт создания переносных многокомпонентных газоанализаторов с использованием оптического абсорбционного метода / В. А. Алексеев, В. А. Яценко // Радиотехника. — 2006. — Вып. 146. — С. 192—197.
2. Оптические модули LFD-14/xxxx-i [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://doc.chipfind.ru/pdf/fti/lfd14xxxxi.pdf>.
3. Пат. 52345 України, МПК⁹ G 01 N 21/61, G 01 N 21/01. Волоконно-оптичний перетворювач концентрації газу / Яремчук В. Ф., Смішний С. М., Кравчук Н. С.; заявники та патентовласники Яремчук В. Ф., Смішний С. М., Кравчук Н. С. — № у 201001570; заявлено 15.02.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.

Рекомендована кафедрою радіотехніки

Надійшла до редакції 8.09.11
Рекомендована до друку 21.10.11

Яремчук Володимир Федорович — доцент, **Смішний Сергій Миколайович** — аспірант.

Кафедра фізики, Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського, Вінниця