

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

## СЕНСОР КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СИСТЕМ

Запропоновано сенсор концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу. Подано та реалізовано функціональну схему макет-установки такого сенсора для проведення експериментальних досліджень. Наведено переваги цього сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем порівняно з існуючими оптичними. Зазначено, що цей сенсор може бути використаний для вимірювання концентрації газів, наприклад, таких як метан, та інших вибухонебезпечних газів, токсичних, агресивних і отруйних газів.

### Вступ

Визначення концентрації газу, тобто реєстрація його складу і кількості, в робочій зоні і подальший моніторинг є важливою складовою безпеки перебування в цій зоні. Тому наявність приладів контролю газового середовища з певними технічними характеристиками безпосередньо впливає на рівень безпеки. На сьогодні розвиток приладів цієї групи відбувається надзвичайно стрімко, оскільки є потреба у покращених характеристиках приладів, призначених для визначення складу атмосфери. Реалізація волоконно-оптичного сенсора газу на основі компонентів волоконної оптики є економічно доцільнішою та безпечнішою у використанні.

Метою роботи є розроблення функціональної схеми та дослідження макет-установки волоконно-оптичного сенсора концентрації газу, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу.

### Основна частина

Робота запропонованого волоконно-оптичного сенсора (ВОС) концентрації газу ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу [1].

Функціональна схема пристрою показана на рис. 1.

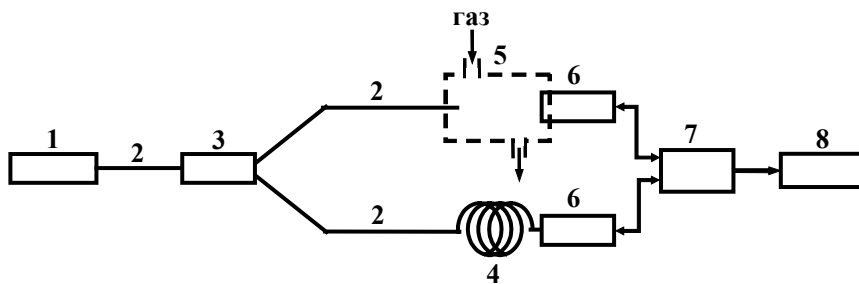


Рис. 1. Функціональна схема сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем

(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

Вимірюється різниця інтенсивності потоків, 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) виступає волоконно-оптична лінія з малими втратами енергії випромінювання. Різниця інтенсивності потоків пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Величина потоку випромінювання  $\Phi_b$ , що пройшов через плечі, може бути визначена за законом Бугера–Ламберта–Бера.

Потоки випромінювання  $\Phi_1$  (потік випромінювання на виході вимірювальної кювети (відкритого каналу) 5) і  $\Phi_2$  (потік, що пройшов через світловод 4) під час попадання випромінювання відповідно на приймачі 6 створюють на їх виходах зміну напруг  $\Delta U_1$  і  $\Delta U_2$ , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується.

Формула для визначення концентрацій газу буде мати вигляд [2]

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

де  $C_{x1}$  — концентрація газу, що аналізується;  $\alpha_1$  — 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;  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  — зміна напруг під час попадання на приймачі потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами  $l_1$ ,  $l_2$ , відповідно.

Під час використання оптично-частотних перетворювачів [3] на їх виходах пропорційно до ступеня ослаблення потоків отримаємо зміну частот  $\Delta f_1$  і  $\Delta f_2$ , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Рівняння (1) можна переписати у вигляді

$$C_{x1} = \frac{1}{-\alpha_1 l_1} \ln \frac{\Delta f_1}{\Delta f_2}, \tag{2}$$

де  $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$  — зміна частоти на виходах приладів під час попадання на них потоку випромінювання, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) і опорний канал з довжинами  $l_1$ ,  $l_2$ , відповідно. Причому

$$\Delta f_{1,2} = k \Phi_{1,2}, \tag{3}$$

де  $\Phi_{1,2}$  — величина світлового потоку;  $k$  — коефіцієнт пропорційності перетворення зміни інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу.

Реалізація цього сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем за функціональною схемою, зображеною на рис. 1. у вигляді макет-установки, має такий вигляд (рис. 2):

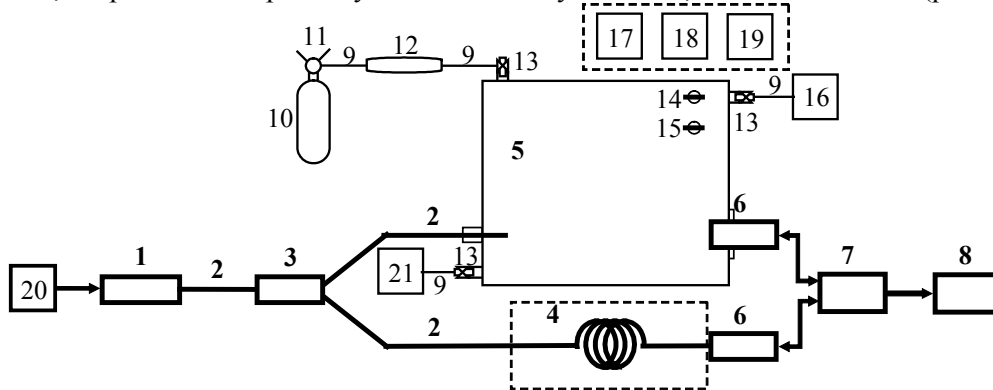


Рис. 2. Функціональна схема макет-установки сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем (оптично-абсорбційний метод): 1 — джерело випромінювання; 2 — світловод; 3 — оптичний розгалужувач; 4 — світловод; 5 — вимірювальна кювета (відкритий канал); 6 — приймачі випромінювання; 7 — реєструвальний пристрій; 8 — блок обробки інформації; 9 — гумовий шланг; 10 — ємність з газовою сумішшю відомої концентрації; 11 — газовий редуктор; 12 — ротаметр; 13 — впускний/випускний клапан; 14 — датчик температури вимірювальної комірки; 15 — датчик тиску вимірювальної комірки; 16 — пристрій для прокачування/відкачування повітря; 17 — датчик температури навколишнього середовища; 18 — датчик тиску навколишнього середовища; 19 — вологомір навколишнього середовища; 20 — джерело живлення випромінювача; 21 — навколишнє середовище

Вибухонебезпечні гази найчастіше підлягають контролю, оскільки такі гази, як метан, ацетилен, пропан, бутан та інші є водночас і отруйними, й такими, що вибухають за певних концентрацій та умов. Одним з найпоширеніших вибухонебезпечних газів є метан. Визначення концентрації метану у житлових та технологічних приміщеннях чи у відкритій робочій зоні завжди залишалося

актуальним питанням.

За функціональною схемою, зображеною на рис. 2, реалізовано сенсор концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, призначений для реєстрації метану на робочій довжині хвилі поглинання  $\lambda = 1331$  нм. Ця довжина хвилі органічно поєднується з оптично-енергетичними властивостями пропускання кварцових волоконно-оптичних ліній, які найчастіше використовуються в процесі побудови волоконно-оптичних ліній зв'язку.

У якості джерела випромінювання використано волоконно-оптичний модуль LFD-14/1330-i, 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  $\lambda_{LD} = 1330...1332$  нм. [4]. Використано світловоди із стандартною довжиною хвилі пропускання  $\lambda_c = 1310$  нм. Волоконно-оптичний розгалужувач  $1 \times 2$  (Y-подібний) з розподілом енергетичного потоку 50:50 %. Довжина світловода 4 становить 10 м. Конструкція вимірювальної кювети дозволяє обрати певну довжину  $l_1$  — довжину оптичного шляху у газовому середовищі. Приймачем інфрачервоного випромінювання слугує InGaAs PIN фотодіод ТМС-1С31-000, спектральна чутливість якого максимально узгоджена із спектральними характеристиками обраного джерела інфрачервоного випромінювання, і має темновий струм  $I_D = 2$  нА (для 25 °С) [5]. Вимірювання проводяться за включення фотодіодів у фотогальванічному режимі.

Для зменшення похибки вимірювань концентрації газу у вимірювальній кюветі використано подвійну систему контролю кількості газу: перша — за допомогою газового ротаметра, друга — датчика тиску вимірювальної кювети, за значеннями якого можна визначити парціальний тиск цього газу. Враховувалися також такі параметри, як температура, тиск, вологість газового середовища у вимірювальній кюветі та у навколишньому середовищі.

Складено алгоритм роботи такої макет-установки сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем.

В результаті експериментальних досліджень встановлено працездатність цього сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, зокрема концентрації метану на довжині хвилі поглинання  $\lambda = 1331$  нм і показано доцільність практичного застосування такого сенсора.

Переваги цього сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем порівняно з існуючими:

- схема запропонованого ВОС дозволяє значно спростити сам метод, а пристрій не потребує модуляторів, оптичних фільтрів, дзеркал;
- спрощення приладу відбувається за рахунок наявності відкритого каналу;
- запропонований ВОС концентрації газу призначений як для дистанційного, так і для локального вимірювання;
- оскільки випромінювач та приймачі оптичного випромінювання можуть знаходитися поза вибухонебезпечною зоною, то використання такого приладу є безпечним;
- підвищення чутливості вимірювання концентрації певного газу та зменшення енергетичних витрат здійснюється шляхом вибору потрібного світловода (тип, довжина);
- збільшення точності вимірювання приладу у випадку збільшення неселективних втрат випромінювання, пов'язаних із забрудненням оптичних елементів з часом, досягається за рахунок використання двох плечей;
- використання приладів, які перетворюють зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, підвищує точність вимірювання концентрації газу, що аналізується, і підвищує надійність запропонованого способу.
- схема такого сенсора дозволяє перевірити справність волоконно-оптичної лінії та плеча з вимірювальним каналом за присутності газу, на який налаштовано прилад.

## Висновки

Продемонстровано сенсор концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, робота якого ґрунтується на принципі оптично-абсорбційного методу. Наведено та реалізовано функціональну схему макет-установки такого сенсора для проведення експериментальних досліджень. Встановлено працездатність цього сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем, зокрема концентрації метану на довжині хвилі поглинання  $\lambda = 1331$  нм. Наведено переваги такого сенсора концентрації газу на основі волоконно-оптичних систем порівняно з існуючими оптичними.

Технічні характеристики оптичних волокон і напівпровідникових лазерів, що серійно випускаються, дозволяють реалізувати волоконно-оптичну систему для реєстрації певного газу в повітрі, економічно сумірну з вартістю звичайних каналів оптичного зв'язку.

### 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. 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. — № u 201001570; заявлено 15.02.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.
3. Осадчук В. С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі : моног. / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, В. Г. Вербицький. — Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2001. — 195 с.
4. Оптические модули LFD-14/xxxx-i [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://doc.chipfind.ru/pdf/fti/lfd14xxxxi.pdf>.
5. TrueLight Corporation [Электронный ресурс] / TMC-1C31-000. — Режим доступа : <http://www.truelight.com.tw/productsinfo2.php?type=download&file=TMC-1C31-000-1268117286-FRvHj.pdf>.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Стаття надійшла до редакції 4.03.11  
Рекомендована до друку 21.03.11

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

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