

УДК 621.375; 543.272

В.Ф. ЯРЕМЧУК, Н.С. КРАВЧУК, С.М. СМІШНИЙ

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ГАЗОАНАЛІЗАТОР

*Вінницький державний педагогічний університет
ім. М. Коцюбинського, вул. Острозького, 32,
Вінниця, Україна*

Анотація. Представлено волоконно-оптичний газоаналізатор, який використовує принцип диференціального оптичного поглинання в діапазоні різних довжин хвиль залежно від параметрів використаних компонентів. Результати проведених розрахунків показують, що даний волоконно-оптичний газоаналізатор може бути використаний для вимірювання концентрації газів, наприклад, таких як метан. Наведено переваги даного волоконно-оптичного газоаналізатора порівняно з існуючими оптичними.

Аннотация. Представлен волоконно-оптический газоанализатор, который использует принцип дифференциального оптического поглощения в диапазоне разных длин волн в зависимости от параметров использованных компонентов. Результаты проведенных расчетов показывают, что данный волоконно-оптический газоанализатор может быть использован для измерения концентрации газов, например, таких как метан. Приведены преимущества данного волоконно-оптического газоанализатора в сравнении с существующими оптическими.

Abstract. The article deals with the fiber optic gas analyzer which uses the principle of differential optical absorption in the range of waves of different length depending on the parameters of the used components. The results of the made calculations show that the given fiber optic gas analyzer can be used for the measurement of the concentration of gases, for example, such as methane. The advantages of the given fiber optic gas analyzer in comparison with the existing optical ones are given.

Ключові слова: оптичне волокно, волоконно-оптичний газоаналізатор, газ, концентрація.

ВСТУП

Сьогодні оптичні та оптико-електронні сенсори і перетворювачі в системах керування та екологічного моніторингу стрімко розвиваються, що зумовлено постійним підвищенням вимог щодо контролю екологічної безпеки. Забезпечення екологічної безпеки на виробничих підприємствах, побутових приміщеннях, навколишнього середовища, завжди залишається актуальним процесом. Динамічний контроль стану середовища перебування дозволяє попередити виникнення небезпеки, що підвищує рівень безпеки праці.

Вимірювання концентрації вибухонебезпечних, токсичних, агресивних і отруйних газів, є невід'ємною складовою екологічного моніторингу, як навколишнього середовища так і техногенних об'єктів. Як наслідок, розробка нових чи вдосконалення вже існуючих сенсорів і перетворювачів концентрації газів підвищує достовірність отриманої інформації, що впливає на прийняття відповідних рішень.

Запропонований волоконно-оптичний газоаналізатор, який використовує принцип диференціального оптичного поглинання в діапазоні різних довжин хвиль залежно від параметрів використаних компонентів, може бути використаний для практичного застосування – екологічного моніторингу.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Робота представленого волоконно-оптичного газоаналізатора (ВОГ) ґрунтується на принципі диференціального методу [1].

На кресленні (рис.1.) представлена функціональна схема пристрою, який працює на основі методу диференціального вимірювання концентрації газу.

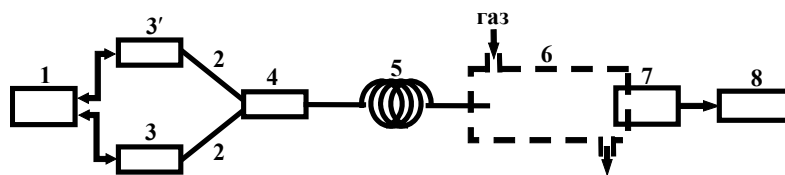


Рис.1. Функціональна схема волоконно-оптичного газоаналізатора.

Джерело живлення 1 по чергово вмикає світловипромінюючі діоди 3, 3' з довжинами хвиль відповідно λ_1 і λ_2 (λ_1 – довжина хвилі випромінювання, що відповідає лінії поглинання газу; λ_2 – опорна довжина хвилі випромінювання, що лежить за межами діапазону спектру поглинання газу, що аналізується), які поширюються по світловодам 2 та надходять до розгалужувача 4. Після розгалужувача випромінювання через світловод 5 потрапляє у вимірювальну кювету (відкритий канал) 6 з вбудованим на виході приймачем інфрачервоного випромінювання 7, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу. Далі з приймача 7 електричні сигнали надходять до мікропроцесора 8, який їх обробляє і видає значення концентрації газу N .

Основне рівняння для розрахунку концентрації газу методом диференціального поглинання має наступний вигляд [1]:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{P_r(\lambda_2)}{P_r(\lambda_1)}, \quad (1)$$

де N – парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші ($N=760$ Торр відповідає концентрації $C=100\%$); λ_1 – довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі); λ_2 – опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання; l – довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом; $P_r(\lambda_i)$ (де $i = 1, 2$) – потужність оптичного випромінювання на довжині хвилі λ_i , прийнята приймачем; $\sigma(\lambda_i)$ – переріз поглинання газу на довжині хвилі λ_i .

За вихідними потужностями оптичного випромінювання $P_r(\lambda_i)$ проведено розрахунки параметрів волоконно-оптичного газоаналізатора, призначеного для реєстрації метану, з урахуванням втрат потужності світлового потоку у елементах волоконно-оптичного сенсора.

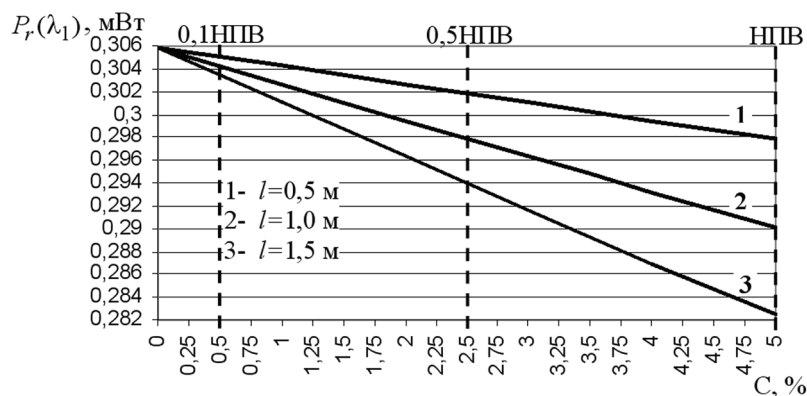


Рис.2. Залежність вихідної потужності $P_r(\lambda_1)$ від концентрації метану. Робоча довжина хвилі 1331нм. Потужність введеного випромінювання 2 мВт; загальна довжина волоконного тракту 10м ($\alpha=0,5$ дБ/км); втрати в оптичних елементах 8 дБ

Залежність вихідної потужності $P_r(\lambda_1)$ від концентрації метану на робочій довжині хвилі 1331нм та потужності введеного випромінювання 2мВт, загальній довжині волоконного тракту 10м (тобто волоконно-оптичний газоаналізатор застосовується як локальний перетворювач) з $\alpha=0,5$ дБ/км, втратами в оптичних елементах на рівні 8 дБ, приведено на рис.2. Одним із важливих завдань газоаналізатора, що реєструє рівень метану, є визначення концентрації метану на рівні НПВ - нижнього порогу вибуховості, що відповідає 5%. З рис.2. видно, що вихідна потужність $P_r(\lambda_1)$ зменшується із

ростом l , а чутливість зростає в діапазоні 0-5% (0-100% НПВ): крива 1 - 1,60 мкВт/%; крива 2 - 3,17 мкВт/%; крива 3 - 4,69 мкВт/%. Для забезпечення вимірювання концентрації метану з точністю 0,1% крок зміни вимірювання вихідної потужності $P_r(\lambda_i)$ повинен бути не більше 0,16 мкВт при довжині комірки $l=0,5$ м. Усі значення функції $P_r(\lambda_1) = f(C)$ при $0,5 \text{ м} < l < 1,5 \text{ м}$ лежатимуть між кривою 1 та кривою 3.

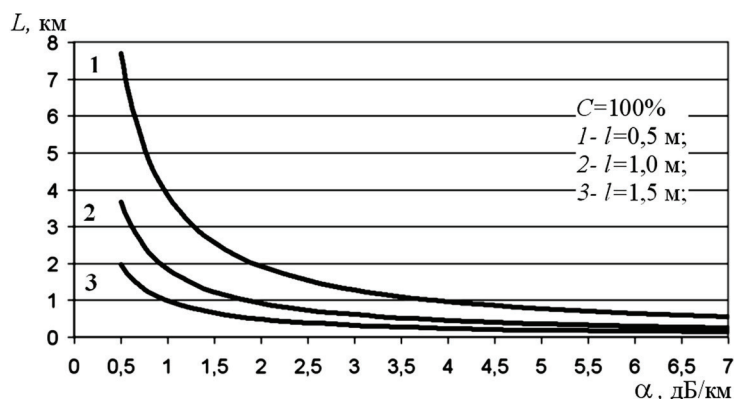


Рис.3. Залежність довжини волоконного кабеля при виявленні заданої концентрації метану від коефіцієнта затухання оптичного волокна для тієї ж апаратної бази (окрім волокна). Потужність введеного випромінювання 2 мВт; втрати в оптичних елементах 8 дБ

При заданій концентрації метану залежність довжини волоконно-оптичного кабеля (волокна) від коефіцієнта затухання оптичного волокна на робочій довжині хвилі 1331 нм, приведено на рис.3. Збільшення α призводить до зменшення L , причому при $0,5 < \alpha < 1,5$ довжина волокна найбільш різко зменшується. З графіка видно, що при потужності введеного випромінювання у волокно 2 мВт з $\alpha = 0,5$ дБ/км і $l=0,5$ м, та втратах в оптичних елементах на рівні 8 дБ, концентрація метану $C=100\%$ може бути визначена на відстані $L \sim 7,7$ км, та при $\alpha = 1,5$ дБ/км на відстані $L \sim 2,5$ км, при $l=1,5$ м на відстані $L \sim 1,97$ км з $\alpha = 0,5$ дБ/км, та на відстані $L \sim 0,65$ км з $\alpha = 1,5$ дБ/км, що достатньо для практичного використання.

Важливе значення для даного ВОГ концентрації газу має вибір приймача випромінювання, оскільки рівень шуму приймача випромінювання визначає чутливість сенсора.

Потоки випромінювання з потужністю $P_r(\lambda_1)$ і $P_r(\lambda_2)$ при попаданні інфрачервоного випромінювання на приймач створюють на його виході зміну напруг ΔU_1 і ΔU_2 , пропорційно до ступеня ослаблення потоків, відповідно, яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Тоді рівність (1) матиме вигляд:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}, \quad (2)$$

де ΔU_1 , ΔU_2 - зміна напруг на приймачі.

При використанні оптично-частотного перетворювача [2], на його виході, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, отримаємо зміну частот Δf_1 і Δf_2 , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Використовуючи формулу (1) отримаємо наступне співвідношення:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1}, \quad (3)$$

де Δf_1 , Δf_2 - зміна частот на виході приладу при попаданні на нього потоку випромінювання з довжиною хвилі λ_i ($i = 1, 2$) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною l .

Підвищити чутливість та точність вимірювання концентрації газу дозволяє наступне технічне рішення: використання одночасно двох довжин хвиль інфрачервоного випромінювання, які відповідають лінії поглинання газу λ_1 та λ_2 . Зрозуміло, що дані лінії поглинання мають бути сумісні із

спектральною сприйнятливістю приймача інфрачервоного випромінювання, а також $\lambda_1 \neq \lambda_2$ та $[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)] > 0$ (тобто $\sigma(\lambda_1) > \sigma(\lambda_2)$).

Такий волоконно-оптичний газоаналізатор має наступні переваги порівняно з існуючими:

- схема представленого газоаналізатора дозволяє значно спростити сам метод, а пристрій не потребує модюляторів, оптичних фільтрів, дзеркал;
- спрощення приладу відбувається за рахунок наявності відкритого каналу;
- представлений ВОГ концентрації газу призначений як для дистанційного так і для локального вимірювання;
- оскільки випромінювачі та приймач оптичного випромінювання можуть знаходитися поза вибухонебезпечною зоною, то безпека використання такого приладу є надзвичайно високою;
- 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 довжин хвиль випромінювання;
- збільшення точності вимірювання приладу у випадку збільшення спектральної чутливості приймача випромінювання у відношенні до спектра поглинання досліджуваного газу під дією температури та тиску оточуючого середовища досягається за рахунок використання двох довжин хвиль випромінювання;
- використання приладу, який перетворює зміну інтенсивності випромінювання в частоту електричного сигналу, підвищує точність вимірювання концентрації газу, що аналізується, і підвищує надійність запропонованого способу.
- схема представленого газоаналізатора дозволяє перевірити справність волоконно-оптичної лінії та вимірювального каналу за наявності газу, на який налаштовано прилад, а також перевірити справність джерела випромінювання.

ВИСНОВКИ

Результати проведених розрахунків показують, що ВОГ концентрації метану, який використовує запроповану елементну базу і працюючи на лінії поглинання 1331нм, може забезпечити реєстрацію концентрації метану $C=100\%$ на відстані $L \sim 7,7$ км з $\alpha = 0,5$ дБ/км, що є достатнім для практичного використання.

Оскільки випромінювачі та приймач оптичного випромінювання можуть знаходитися поза вибухонебезпечною зоною, то безпека використання такого приладу є надзвичайно високою, тобто можливе застосування такого сенсора для контролю газу у контролюючій зоні, в якій завжди існує високий рівень вибухонебезпеки, а також зоні, в якій можливий агресивний вплив середовища на організм (наприклад: отруєння, хімічні опіки тощо). Конструкція даного сенсора підвищує точність вимірювання концентрації газу та надійність запропонованого способу.

Вузлові елементи каналів оптичного зв'язку, технічні оптично – енергетичні параметри оптичних волокон, дозволяють реалізовувати волоконно-оптичну систему з заданими параметрами для реєстрації певного газу в повітрі, економічно сумірну з вартістю звичайних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Chan K. Remote sensing system for near-infrared differential absorption of CH₄ gas using low-loss optical fibre link / K. Chan, H. Ito, H. Inaba // Appl. Opt. -1984. -v.23, №19. -pp.3415-3420.
2. Осадчук В.С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. Монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.Г. Вербицький. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. - 195с.

Надійшла до редакції 08.11.2010р.

ЯРЕМЧУК В.Ф. – к.т.н., доцент кафедри фізики, Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, Вінниця, Україна.

КРАВЧУК Н.С. – к.т.н., доцент кафедри фізики, Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, Вінниця, Україна.

СМІШНИЙ С.М. – аспірант кафедри фізики, Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, Вінниця, Україна.