

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ШВИДКОДІЮЧОГО ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ ДЛЯ СИСТЕМИ ГАЗОВОГО ЗАХИСТУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Вовна О.В., Хламов М.Г.

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

Abstract

Vovna A.V. Khlamov M.G. Development of measuring channel fast-acting measuring device concentration of methane for the system gas defense of coal mine. Development of flow diagram measuring device concentration of the methane, based on the optical-absorption method of measuring concentration gases component, choice source and receiver infra-red radiation, providing of their office hours, and also providing temperature stabilization descriptions and parameters optical-electronic component measuring device.

Загальна постановка проблеми. Інтенсифікація технологічного процесу видобутку вугілля, а також очисних і підготовчих робіт в гірських виробленнях все більш глибоких горизонтів привела до швидкого зростання виділень метану у вугільних шахтах Донбасу. Вибухонебезпечна концентрація метану є причиною вибухів і катастроф, що супроводжуються матеріальними збитками і людськими жертвами.

Однією з причини вибухів є недосконалість технічних засобів контролю якісного стану вентиляційних потоків. Тому в рекомендаціях по підвищенню техніки безпеки на вугільних шахтах [1] разом з вимогами строгого дотримання встановленого регламенту пилегазового і вентиляційного режиму та подальшого вдосконалення методів прогнозу газовиділень в шахтах і розрахунку способів провітрювання, як найважливіша міра указується створення і удосконалення апаратури для контролю вмісту метану в рудничній атмосфері.

Робота направлена на розробку структури вимірювального каналу швидкодіючого газоаналізатору аварійного сповіщення гранично допустимий концентрації метану в умовах вугільних шахт Донбасу.

Постановка задачі дослідження. У основу побудови швидкодіючого вимірювача покладений оптико-абсорбційний метод виміру концентрації газових компонент, який забезпечує достатньо високу швидкодію при вимірюваннях. Для оптичного детектування цього вуглеводню рекомендується використовувати спектральну область ближнього інфрачервоного діапазону з довжиною хвилі поглинання 3,3 мкм [2,3], оскільки ця область містить фундаментальну смугу поглинання вуглеводнів С–Н.

При розробці вимірювального каналу швидкодіючого вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільних шахт необхідно врахувати наступні вимоги:

1. Аналіз метано-повітряної суміші забезпечується без допоміжних пристроїв, механічних і газових фільтрів.
2. Автоматична і безперервна компенсація коливань температури, тиску і вологості аналізованого середовища.
3. Облік і компенсація впливу супутніх газів рудничної атмосфери – оксид і двоокис вуглецю, кисень, водень та ін, що потрапляють у вимірювальний канал.
4. При широкому діапазоні вимірювання концентрації метану (від 0 до 70 % і вище) характеристики вимірювань однозначні.
5. Природна циркуляція аналізованого повітря через вимірювальний канал шляхом

вільної конвекції і дифузії, обумовлені різною питомою вагою повітря і рудничного газу.

При виконанні роботи, з урахуванням поставлених вимог, необхідно розробити функціональну, оптичну і структурну схеми швидкодіючого вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільних шахт.

Рішення задачі та результати дослідження. Проаналізувавши достоїнства і недоліки існуючих вимірювачів газових компонент, що засновані на оптико-абсорбційному методі виміру, розроблена функціональна оптична схема вимірювача концентрації метану для умов вугільних шахт Донбасу, яка приведена на рис. 1.

При обліку вимоги природної циркуляція аналізованого повітря через вимірювальну камеру шляхом вільної конвекції і дифузії, обумовлені різною питомою вагою повітря і рудничного газу, рекомендується використовувати в оптичній системі вимірювача концентрації метану, що розробляється, відкритий оптичний канал (ОК).

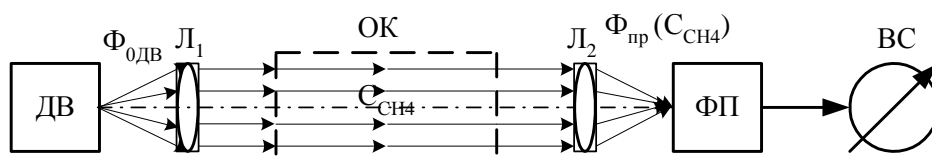


Рисунок 1 – Функціональна оптична схема вимірювача концентрації метану

Джерело випромінювання (ДВ) формує з лінзою (L₁) направлений рівномірний потік випромінювання (Φ_{0ДВ}), який проходить відкритий оптичний канал з вимірюваною концентрацією метану (C_{СН4}). На лінзу (L₂), що фокусує, поступає ослаблений потік випромінювання процесами поглинання інфрачервоної радіації (Φ_{пр}(C_{СН4})), який несе інформацію про концентрацію метану в оптичному каналі. Лінза L₂ фокусує потік випромінювання у вікно фотоприймача (ФП), який перетворює одержаний потік в електричний сигнал. Електричний сигнал від фотоприймача, який містить інформацію про концентрацію метану, поступає на вимірювальну систему (ВС) газоаналізатора, що розробляється. ВС формує видачу інформації про зміну концентрації метану на індикатори, а також передачу інформації в систему газового захисту вугільної шахти.

Як джерело ІЧ-випромінювання в роботі використовується світловипромінюючий діод LED34-TEC-PR-1, в корпусі типа – ТО-5 з термоохолодильником і параболічним рефлектором [4]. Спектральні характеристики СВД LED34-TEC-PR-1 при різних температурах і струмі крізь світлодіод I=150 мА приведені на рис. 2.

Апроксимована залежність нормованої спектральної характеристики потужності випромінювання СВД LED34-TEC-PR-1, з відносною похибкою апроксимації ε не більш 7 %.

$$s_{СВД}(\lambda) = e^{-r^2 \cdot (\lambda - \lambda_0)^2},$$

де

$t, ^\circ C$	$r, мкм^{-1}$	$\lambda_0, мкм$
- 4	4,438	3,333
+22	3,973	3,379
+54	3,521	3,433

Обчислимо параметр S₀, спектральної густини потужності світловипромінюючого діода, який визначається з умови:

$$\Phi_{СВД} = \int_{-\infty}^{+\infty} S_0 \cdot s(\lambda) d\lambda = \int_{-\infty}^{+\infty} S_0 \cdot e^{-r^2 \cdot (\lambda - \lambda_0)^2} d\lambda = S_0 \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-r^2 \cdot (\lambda - \lambda_0)^2} d\lambda = S_0 \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{2 \cdot r};$$

$$S_0 = \frac{\Phi_{СВД} \cdot 2 \cdot r}{\sqrt{\pi}}.$$

$t, ^\circ C$	$\Phi_{СВД}, \text{мкВт}$	$S_0 \cdot 10^{-4} \frac{\text{мкВт}}{\text{мкм}}$
-4	27,51	1,378
+22	22,58	1,012
+54	18,29	0,727

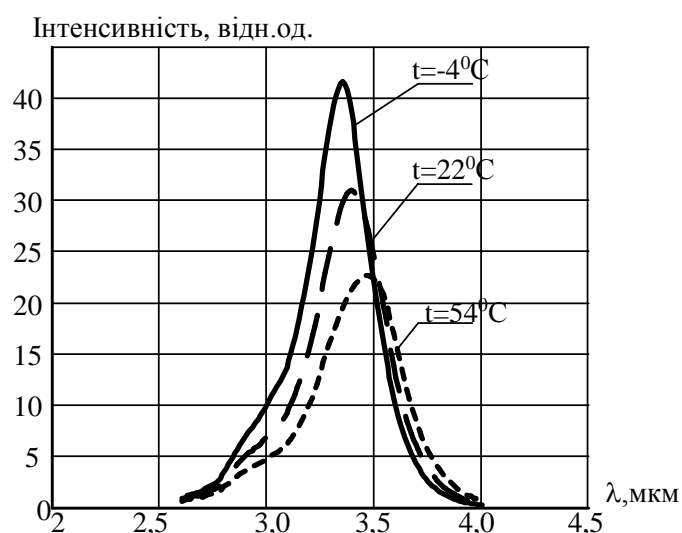


Рисунок 2 – Спектральні характеристики СВД LED34-TEC-PR-1

При розробці швидкодіючого вимірювача концентрації метану, заснованого на абсорбційному методі детектування з ІЧ-випромінювачем в спектральній області 3,3 мкм LED34-TEC-PR-1 виробниками даного типу СВД рекомендується використовувати як фотодетектор фотодіод PD36-03TEC1-PR [4]. Відносна спектральна чутливість фотодіода PD36-03TEC1-PR при температурі +26 °С приведена на рис. 3.

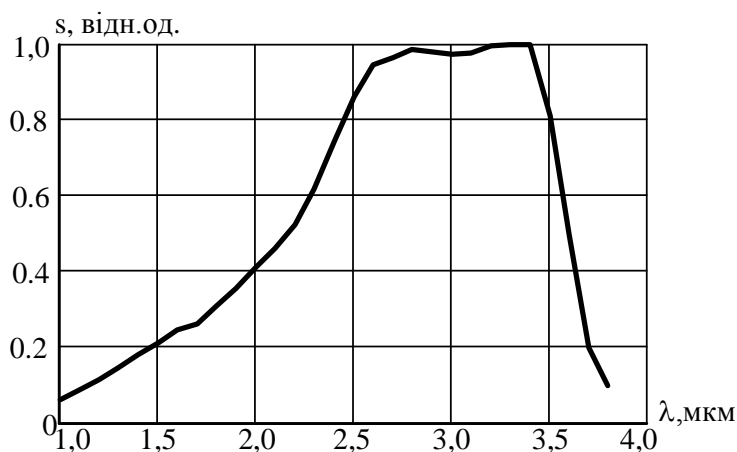


Рисунок 3 – Відносна спектральна чутливість фотодіода PD36-03TEC1-PR

Функціонально схема вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільної шахти розбита на наступні блоки (рис. 4.):

1. Драйвер управління світловипромінюючого діода (Драйвер СВД), який забезпечує імпульсний режим роботи СВД, стабілізацію живлячого струму і температурну стабілізацію характеристик і параметрів джерела ІЧ-випромінювання. На вхід драйвера СВД подається управляючий сигнал (СУ ДС_{СВД}), що забезпечує імпульсний режим роботи схеми, сигнал управління термоелектронним охолоджувачем (СУ ТЕО_{СВД}), вихідний сигнал Драйвера СВД – $U_{TR\text{ СВД}}(t_{TR})$ – інформація про зміну температури корпусу.

2. Драйвер управління фотодіода (Драйвер ФД), який забезпечує фотогальванічний режим роботи ФД і температурну стабілізацію характеристик і параметрів приймача ІЧ-випромінювання. На вхід драйвера ФД подається сигнал управління термоелектронним охолоджувачем (СУ ТЕО_{ФД}), вихідні сигнали Драйвера СВД: $U_{TR\text{ СВД}}(t_{TR})$ – інформація про зміну температури корпусу і $U_{ВИХ\text{ ФД}}(C_{CH4})$ інформація про вимірювання концентрації метану.

3. Мікропроцесорна система (МПС), яка забезпечує сигналами управління Драйвери СВД та ФД, а також приймає і перетворює аналогову інформацію про зміну концентрації метану і температури СВД та ФД. Аналогова інформація поступає на мультиплексор аналогових сигналів (МАС), який по черзі комутує канали виміру з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), де інформація про вимірювані величини перетворюється в цифровий код і передається в мікроконтролер для подальшої обробки, розрахунку обурюючих факторів і видачу на сигнали управління драйверами. МПС передає інформацію про зміну концентрації метану на індикатори (ІНД.), а також забезпечує передачу інформації по послідовному інтерфейсу RS232 в систему газового захисту вугільної шахти.

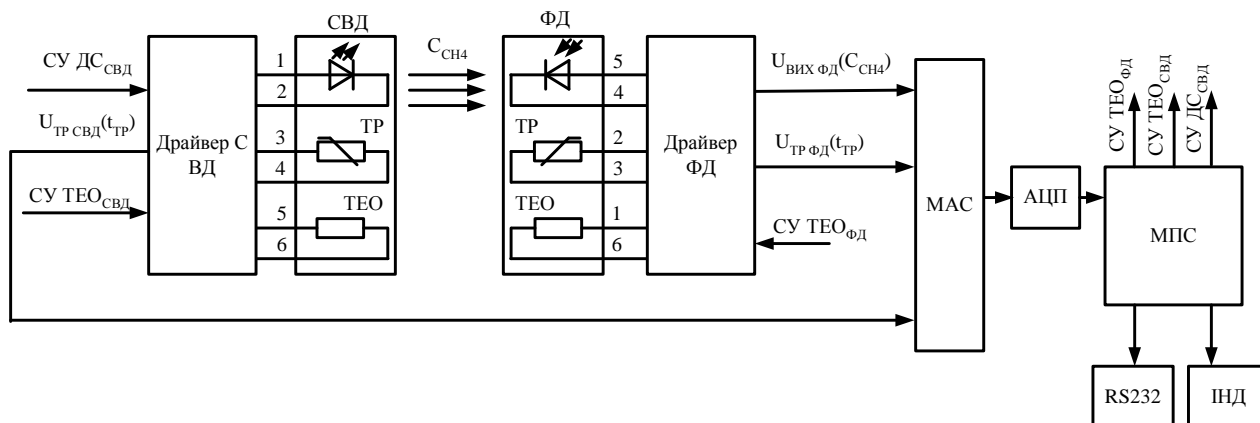


Рисунок 4 – Функціональна схема вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільної шахти

Для живлення СВД LED34–TEC–PR–1 необхідне джерело струму, що кероване напругою, яке використовується для живлення навантаження струмом, сила якого не залежить від вихідної напруги і регулюється тільки вхідною напругою схеми.

Структурна схема керованого джерела струму, для живлення світловипромінюючого діода приведена на рис. 5.

До джерела струму (ДС), що керується напругою підключається безпосередньо світловипромінювальний діод (СВД), напруга на вході ДС встановлюється джерелом опорної напруги (ДОН), величина напруги на виході ДОН може плавно регулюватися вихідним дільником напруги, тим самим передбачається плавне регулювання живлячого струму СВД.

Формування імпульсної послідовності живлячого струму СВД виконується сигналами управління від мікропроцесорної системи (СУ від МПС) через аналоговий ключ (К) у визначений моменти часу вхід ДС комутується з ДОН і нульовим потенціалом, тим самим

забезпечується квазібезперервний і імпульсний режим роботи СВД.

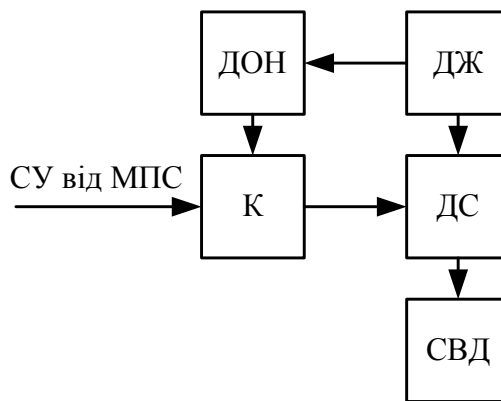


Рисунок 5 – Структурна схема керованого ДС для живлення СВД

Структурна схема температурної стабілізації світловипромінювального діода приведена на рис. 6. Напівпровідниковий терморезистор (ТР) і термоелектронний охолоджувач (ТЕО) на елементі Пельтьє вбудовані корпус СВД.

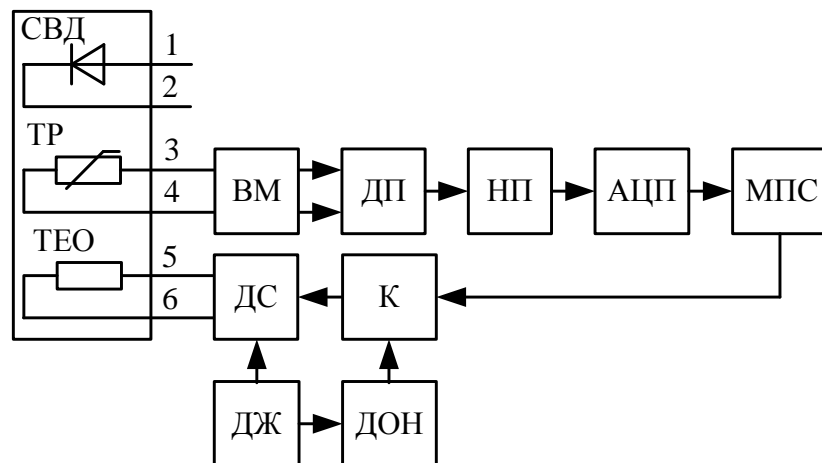


Рисунок 6 – Структурна схема температурної стабілізації СВД

При зміні температури корпусу СВД міняється вихідний опір терморезистору (ТР), який включений в плече рівноважного вимірювального резистивного моста (ВМ). Напряга на виході ВМ, яка пропорційна зміні температури корпусу СВД, подається на різницевий диференціальний підсилювач (ДП) і нормуючий перетворювач (НП), де інформація про зміну температури приводиться до вхідного рівня аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює її в цифровий код і передає на мікропроцесорну систему (МПС). МПС за одержаною інформацією формує імпульсну послідовність на виході порту, яка подається через аналоговий ключ (К), який по імпульсній послідовності комутує вхід джерела струму (ДС), керованого напругою на джерело опорної напруги (ДОН) і нульовий потенціал.

Структурна схема каналу виміру потоку ІЧ-випромінення швидкодійного вимірювача концентрації метану приведена на рис 7.

Інформація у вигляді зміні потоку ІЧ-випромінення, яка еквівалента зміні концентрації метану у вимірюваному об'ємі подається на фотодіод (ФД), який працює у фотогальванічному режимі, і підключений до фотопідсилювача (ФП). Вихідний електричний сигнал ФП пропорційний вимірюваній концентрації метану подається на нормуючий перетворювач (НП), де інформація про зміну концентрації метану приводиться до вхідного

рівня аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює її в цифровий код і передає на мікропроцесорну систему (МПС).

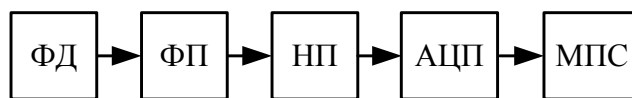


Рисунок 7 – Структурна схема каналу виміру потоку ІЧ-випромінення швидкодіючого вимірювача концентрації метану

Структурна схема і принцип роботи температурної стабілізації ФД аналогічні температурній стабілізації СВД.

Висновки.

За результатами проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. Розроблена оптична схема інфрачервоного вимірювача концентрації метану для умов вугільних шахт.

2. Як джерело ІЧ-випромінення обґрунтовано вибраний світловипромінюючий діод LED34–TEC–PR–1, який безпосередньо розроблений для портативних газоаналізаторів перевищення гранично допустимих концентрації вуглеводнів: метану, етану, пропану та інших газів. Для забезпечення необхідних технічних характеристик і параметрів розроблена структурна схема драйвера СВД, яка забезпечує живлення діода імпульсами струму, а також температурну стабілізація.

3. Як приймач ІЧ-випромінення обґрунтовано вибраний фотодіод PD36–03TEC1–PR. Розроблена структурна схема драйвера фотодіода, виходячи з того, що PD36–03TEC1–PR оптимізований в процесі розробки для фотогальванічного режиму. До складу схеми драйвера входять елементи температурної стабілізації характеристик і параметрів фотодіода.

4 Розроблена функціональна і структурна схеми вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільної шахти, яка дозволяє розробити багатоканальний мікропроцесорний інфрачервоний оптико-абсорбційний газоаналізатор, що відповідає вимогам європейських стандартів для умов вугільних шахт Донбасу.

Робота виконана згідно плану науково-технічної роботи Д–14–07 «Розроблення швидкодіючого вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільних шахт» що фінансується із коштів Міносвіти освіти і науки України

Література

1. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М.: Недра, 1976.
2. NASA [Електронний ресурс] /Virtual Planetary Laboratory, Diane.L.Engler. – Електронні дані, – Режим доступу: <http://vpl.ipac.caltech.edu/spectra/ch4.htm>.– Загл. з екрану. – Мова. англ.
3. Вовна А.В., Хламов М.Г. Применение оптико-абсорбционного метода для измерения объемной концентрации метана в условиях угольных шахт. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» Випуск 13 (121). – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – 173 – 179 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.