

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Декан фКІТАЕР

(підпис)

Тарасюк В.П.

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2018 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

(підпис)

Вовна О.В.

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2018 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою вимірювання концентрації метану
для системи аерогазового захисту вугільних шахт»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕлС-14

(шифр групи)

напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальності Електронні системи

(шифр і назва спеціальності)

Коротенко Олександр Сергійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник завідувач кафедри ЕТ, д.т.н., доц.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

О.В. Вовна

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2018 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка електронного пристрою вимірювання концентрації метану для
системи аерогазового захисту вугільних шахт»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕлС – 14

Коротенко О.С.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2018

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалаврНапрямок підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва)

Спеціальність Електронні системи

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

«_____» _____ 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Коротенко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою вимірювання концентрації метану для системи аерогазового захисту вугільних шахт

керівник проекту (роботи) Вовна Олександр Володимирович, д.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від . .201 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи).

3. Вихідні дані до проекту (роботи).

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	зав. каф. ЕТ, д.т.н., доц., Вовна О.В.		
2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Зорі А.А.		
А	зав. каф. ЕТ, д.т.н., доц., Вовна О.В.		
3.1	зав. каф. ЕТ, д.т.н., доц., Вовна О.В.		
3.2	доц. каф. ЕТ, к.т.н., Лактіонов І.С.		
4	зав. каф. ЕТ, д.т.н., доц., Вовна О.В.		
Б	ст. викл. каф. ОП, Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз швидкодіючих методів і засобів вимірювання концентрації метану в атмосфері вугільних шахт		
2	Розробка структурної схеми електронного пристрою вимірювання концентрації метану		
3	Технічне завдання на розробку електронного пристрою вимірювання концентрації метану		
4	Розробка принципової схеми оптико-електронного пристрою вимірювання концентрації метану		
5	Розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою вимірювання концентрації метану		
6	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

(підпис)

Коротенко О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Вовна О.В.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Коротенко, О.С. Розробка електронного пристрою вимірювання концентрації метану для системи аерогазового захисту вугільних шахт / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за напрямом підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи» спеціальності «Електронні системи». – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2018.

Пояснювальна записка: 55 стор., 15 рис., 27 посилання.

Для створення безпечних умов праці гірників зі зростаючою потребою у видобутку вугілля на пластах, небезпечних за раптовими викидами вугільного пилу і газу, необхідне створення швидкодіючих вимірювачів концентрації газових компонент в рудничній атмосфері вугільних шахт. Величину установки за метаном необхідно забезпечити у 2 рази менше нижньої межі вибухонебезпеки метану – 2,5 об.%. Максимальний допустимий час спрацьовування вимірювача повинен бути не більш (0,7–0,75) с. Тому згідно вимог ДСТУ час спрацьовування цих вимірювачів повинен складати за об'ємною часткою метану – 0,8 с., за швидкістю наростання об'ємної частки 0,5 % у секунду – 2,0 с.

З аналізу методів вимірювань концентрації метану в атмосфері вугільних шахтах витікає, що найбільша швидкодія вимірювань з необхідною точністю контролю має оптико-абсорбційний метод, який і встановлений в основу розробки вимірювача концентрації метану.

Розроблена та обґрунтована структурна електронного пристрою вимірювання концентрації метану, яка враховує вимоги циркуляції аналізованої атмосфери вугільної шахти через вимірювальну кювету, що забезпечується відкритим оптичним каналом. Розроблена конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою вимірювання концентрації метану для умов атмосфери вугільних шахт.

Ключові слова: концентрація, метан, оптико-електронний пристрій, вимірювання, вугільна шахта, швидкодія, точність.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ШВИДКОДІЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В АТМОСФЕРІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ.....	9
1.1 Аналіз характеристик і параметри атмосфери вугільних шахт.....	9
1.2 Аналіз методів і засобів вимірювання концентрації метану.....	12
1.3 Оптичні інфрачервоні газоаналізатори.....	15
1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою.....	16
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ.....	18
2.1 Огляд основних компонент і узагальнена структурна схема інфрачервоного вимірювача концентрації метану.....	18
2.2 Огляд структурних оптичних схем вимірювача газових компонент...	19
2.3 Розробка оптичної схеми вимірювача концентрації метану.....	26
2.4 Розробка структурної схеми оптико-електронного вимірювача концентрації метану.....	27
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ.....	30
3.1 Розробка схеми джерела струму для живлення світлодіода.....	30
3.2 Розробка аналогової частини вимірювального каналу.....	33
4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ЗОВНІШНЬОГО ВИГЛЯДУ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ.....	38
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТОК А – Технічне завдання на розробку електронного пристрою вимірювання концентрації метану.....	44
ДОДАТОК Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	49

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП	– аналого-цифровий перетворювач;
ДВ	– джерело випромінювання;
ДЖ	– джерело живлення;
ДОН	– джерело опорної напруги;
ДС	– джерело струму, що керується напругою;
К	– ключ;
Л	– лінза;
МПС	– мікропроцесорна система;
НП	– нормуючий підсилювач;
ОК	– оптичний канал;
СВД	– світловипромінюючий діод;
СК	– сигнал керування;
ФД	– фотодіод;
ФП	– фотопідсилювач.

ВСТУП

Постійно зростаючі вимоги до безпеки ведення гірничих робіт обумовлюють актуальність проведення безперервних досліджень щодо вдосконалення засобів моніторингу параметрів аерогазового компонент шахтної атмосфери. Одним з найбільш ефективних інструментів підвищення рівня безпеки робіт на промислових підприємствах є вдосконалення систем аерогазового контролю, до складу яких інтегровані структурні елементи апаратно-програмних рішень вимірювачів концентрації вибухонебезпечних газових компонент.

Використання оптичних датчиків концентрації вибухонебезпечних газів у системах аерогазової захисту промислових підприємств дозволяє своєчасно ідентифікувати моменти виникнення вибухонебезпечних ситуацій. Значна швидкість газодинамічних явищ, складність і специфічність умов, в яких вони протікають, обумовлює розробку безінерційних вимірювачів концентрації метану з широким динамічним діапазоном.

Вимірювачі повинні бути нечутливими до дії основних дестабілізуючих факторів атмосфери вугільних шахт. Жорсткі конструктивні вимоги до вимірювачів у поєднанні з вимогами іскробезпеки не дозволили до теперішнього часу створити засоби вимірювання, що забезпечують отримання інформації щодо процесів зміни концентрації метану з малими статичними і динамічними похибками. Під час розробки оптичних вимірювачів важливим завданням є забезпечення регламентованих показників точності зі збереженням швидкодії вимірювального контролю концентрації газових компонент.

Метою даної роботи є розробка швидкодіючого оптико-електронного пристрою вимірювача концентрації метану для системи аерогазової безпеки вугільних шахт.

1 АНАЛІЗ ШВИДКОДІЮЧИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ В АТМОСФЕРІ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

1.1 Аналіз характеристик і параметри атмосфери вугільних шахт

Для створення нормальних умов життєзабезпечення шахтарів у вугільній шахті подається атмосферне повітря за допомогою вентиляційних установок. Під час проходження вироблень повітря зазнає ряд змін, що обумовлені горно-геологічними факторами й технологічними процесами. Змінюється склад, вологість, тиск, температура та інші показники повітря, воно забруднюється пилом та аерозолями. З поглибленням підземних робіт тиск атмосфери шахт зростає. Якщо температура повітря не змінюється, то взаємозв'язок між його статичним тиском і глибиною гірничих робіт оцінюється за формулою [1, 2]:

$$\Delta P_h = P_0 \left(1 - e^{-\rho_0 \cdot g \cdot h \cdot P_0} \right), \quad (1.1)$$

де ΔP_h – приріст атмосферного тиску P_h на глибині h у порівнянні з тиском повітря P_0 у земної поверхні, кПа. У глибоких шахтах атмосферний тиск може перевищувати 113 кПа (850 мм. рт. ст.).

Істотно можуть відрізнятися температура і вологість повітря в гірничих виробленнях від значень цих величин на поверхні. З глибиною температура повітря зростає та за відсутності кондиціонування може перевищувати 30°C [1, 2]. Разом з тим вугільні шахти надають термостатичну дію на газове середовище, що заповнює вироблення. Тому добові та сезонні коливання температури атмосфери шахти значно менші, ніж зовнішнього повітря.

Вологість повітря вугільної шахти зазвичай вище, ніж зовнішнього, у зв'язку з притокою до гірничих вироблень підземних вод. У тих шахтах, де розробка корисних копалин виконується без застосування води для руйнування пласта, відносна вологість повітря складає від 80 до 90 %. Під час

реалізації гідравлічного способу здобичі й транспортування корисних копалин відносна вологість сягає 100 % [1, 2].

Швидкість руху повітря в гірничих виробленнях може досягати значних величин, у окремих випадках вона досягає 8 м/с і більш [2 – 4].

Вміст пилу в атмосфері шахт зазвичай вище, ніж зовнішньому повітрі. Вміст пилу в атмосфері шахти змінюється в широких межах залежно від здатності пилоутворення корисних копалин і порід, а також від інтенсивності їх руйнування. У шахтах вугільний пил розноситься вентиляційними струменями і осідає на кріпленні вироблень, механізмах і електропусковій апаратурі. Вибуховим вважається повітря з великим вмістом частинок вугільного пилу.

Разом з пилом, шахтна атмосфера може містити різні вибухові, токсичні, радіоактивні та інертні гази. У ній міститься менше кисню і більше азоту, чим в зовнішньому повітрі.

Метан (CH_4) має відносну щільність 0,554 [5, 6]. Характерними властивостями цього газу є горючість і здатність давати вибухову суміш з повітрям. Для метану характерною є властивість запалюватися під час зіткнення з джерелом високої температури не відразу, а через деякий проміжок часу, величина якого залежить від температури займання; якщо $650\text{ }^\circ\text{C}$ час запізнювання складає 10 с, $1000\text{ }^\circ\text{C}$ падає до 1 с і нижче. Присутність водню і інших горючих газів прискорює вибух метану. Якщо концентрація метану в повітрі не перевищує 5 %, то суміш не вибухає, але може горіти біля джерела високої температури, у межах від 5 до 10 % – суміш вибухова, понад 15 % – суміш невибухова та не підтримує горіння, а під час притоки ззовні кисню горить спокійним полум'ям. Області виникнення вибуху метано-повітряній суміші залежно від вмісту в ній кисню і метану показані на рис. 1.1 [2, 5], де позначено: 1 – невибухова суміш; 2 – вибухова суміш; 3 – суміші, що можуть стати вибуховими при додаванні свіжого повітря; 4 – нездійсненна суміш з метаном

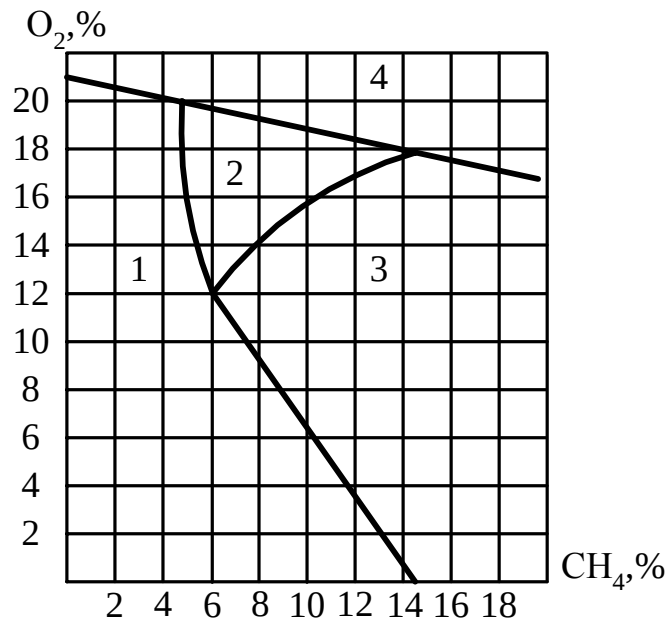


Рисунок 1.1 – Области виникнення вибуху метано-повітряній сумішей залежно від вмісту в ній кисню і метану

Вироблення, в якому відбувся вибух, заповнюється розжареною сумішшю газів, повністю позбавленою кисню, або містить його у малих кількостях. Ця суміш в основному містить азот і вуглекислий газ, а у багатьох випадках – домішки оксиду вуглецю [1, 2]. Оксид вуглецю в такій суміші міститься у великій кількості (до 3 % і більш) в тих випадках, коли вибух газу відбувається у присутності вугільного пилу. Причому велика кількість пилу може бути викликана під час розповсюдження ударних хвиль.

Гази, що непридатні для дихання, з вироблення, в якому відбувся вибух, розповсюджуються по вентиляційній мережі та є головною причиною небезпеки перебування в цей час людей в шахті. Розслідування наслідків вибухів показує [1], що не менше двох третин постраждалих шахтарів бувають уражені під час отруєння оксидом вуглецю або кисневого голодування та накопичення вуглекислого газу в організмі людини. Розбавлення шкідливих газів свіжим повітрям до допустимих концентрацій для збереження здоров'я шахтарів є одному з основних завдань охорони праці й техніки безпеки на вугільних шахтах.

1.2 Аналіз методів і засобів вимірювання концентрації метану

Розрізняють два способи аналізу шахтної атмосфери на вміст в ній метану [7]: прямій – в природних умовах навколишнього середовища, безпосередньо в шахті та ізольований – на денній поверхні, за пробами повітря.

Аналіз шахтної атмосфери прямим способом можна здійснювати шляхом контролю обмеженого числа пробного газу через певні проміжки часу або ж шляхом безперервного контролю його за пробами шахтної атмосфери, що безперервно надходять до реакційної камери метанометру. Недосконалість інструментальних засобів прямого аналізу обмежила можливість використання його як основного в шахтній газометрії. Усі типи шахтних метанометрів можна розділити на такі класи: індикатори; індикатори-детектори; реле-індикатори; автоматичні індикатори [2, 5, 7].

Індикатори шахтного газу призначені лише для якісного та грубого кількісного визначення метану в атмосфері. Індикатори-детектори складають основний клас інструментальних засобів аналізу. Вони призначені для якісного виявлення метану та об'єктивного епізодичного визначення його вмісту.

Реле-індикатори (метан-реле) призначені для автоматичної світлової та звукової сигналізації критичного вмісту метану в повітрі вугільної шахти. Прилади цього типу є перехідними від приладів епізодичної дії до подальшого класу найбільш прогресивних інструментальних засобів аналізу – дистанційним, що безперервно діє автоматичним метанометром. Схема побудови методів і засобів аналізу метану в шахті наведена на рис. 1.2 [5, 7].

Автоматичні індикатори метану поєднують функції приладів перших трьох класів і забезпечують найбільш досконалий спосіб контролю шахтного газу за допомогою безперервної місцевої та дистанційної автоматичної сигналізації критичних концентрацій газу та реєстрації його вмісту. Ці індикатори використовуються також як чутливі елементи в системах регулювання вентиляційних пристроїв.

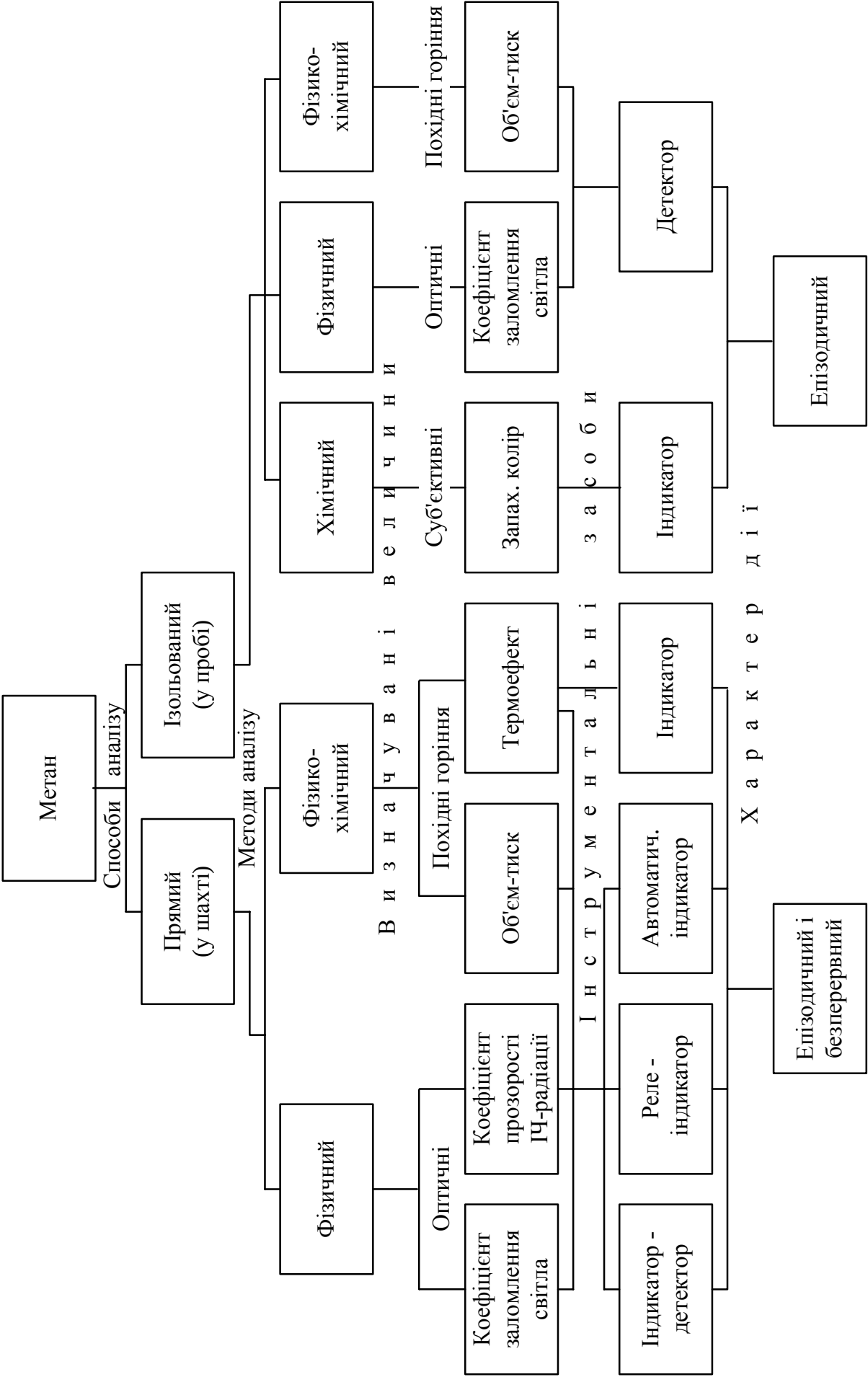


Рисунок 1.2 – Структурна схема побудови методів і засобів аналізу концентрації метану

Роль індикаторів першої, другої й третьої груп зводиться головним чином до визначення фактичного вмісту метану в атмосфері вугільної шахти. У керуванні виробничим процесом такі індикатори участі не приймають. Отже до метанометрів четвертої групи пред'являються особливо жорсткі вимоги:

- безперервність, дистанційність і автоматичність газового контролю;
- висока надійність дії, стабільність градувальної характеристики, низький поріг чутливості ($<0,05\%$), мала інерційність результатів вимірювання (від 15 до 20 с) та однозначність їх в контрольованому діапазоні концентрацій шахтного газу;
- незалежність результатів вимірювання від наявності супутніх газів, пилу та атмосферних умов.

За принципом дії розрізняють такі групи шахтних метанометрів:

- хімічні, засновані на вимірюванні хімічного складу реагуючих з метаном речовин і початкових продуктів реакції;
- фізичні, засновані на вимірюванні окремих або одночасно декількох констант метану;
- фізико-хімічні (термохімічні), засновані на вимірюванні фізичних констант продуктів хімічних реакцій з метаном або обумовленого ними термоволюметричного ефекту.

Можливість використання хімічних метанометрів дуже обмежена у зв'язку з хімічною інертністю метану до більшості відомих реагентів при звичайних температурах і неможливістю застосування для нього відповідного адсорбенту.

Приведені способи суб'єктивно-якісного виявлення метану представляють інтерес лише для дослідницьких лабораторій, але не мають прикладного значення в кількісному газовому аналізі, особливо шахтної атмосфери.

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільшу швидкодію вимірювань з необхідною точністю має оптико-абсорбційний метод контролю (ІЧ), який і покладено в основу побудови вимірювальної системи концентрації метану в атмосфері вугільних шахт [7].

1.3 Оптичні інфрачервоні газоаналізатори

Газоаналізатори, які засновані на оптичному методі, характеризуються найбільш високою чутливістю та вибірковістю. Завдяки цьому вони широко поширені в різних областях газового аналізу, зокрема в шахтній газометрії, конкуруючи тут з термокаталітичними газоаналізаторами, хоча і відрізняються від останніх технічною складністю інструментальних засобів. Розповсюдження його в шахтній газометрії стимулюватиметься такими важливими перевагами, як висока чутливість (від 0,0003 до 0,001 % об'ємної концентрації), властива йому селективність аналізу в багатокомпонентних сумішах, швидкодія (від 0,15 до 0,3 с), придатність для безперервних автоматичних вимірювань, можливість давати при малих приростах концентрації аналізованого газу більший вихідний ефект, виражений у відсотках поглиненої енергії, чим при великих приростах.

Розвиток оптичних газоаналізаторів йшов за двома напрямом, заснованих на двох різних фізичних властивостях аналізованого компонента: здатності поглинати електромагнітні коливання більшої частини оптичного діапазону випромінювань (електрофотометри) і здатності змінювати напрям електромагнітних коливань видимого діапазону випромінювань (інтерферометри) [8]. Електрофотометри і інтерферометри достатньо поширені в рудничній газометрії [5]. Приблизно з 1948 року методи аналізу, засновані на вимірюванні величини поглинання інфрачервоної радіації, стають вельми популярними в газоаналітичному приладобудуванні взагалі і, зокрема, в шахтній газометрії для аналізу метану в атмосфері гірничих вироблень.

Інфрачервоні газоаналізатори діляться на дві великі групи [8]: дисперсні (спектрофотометри) і недисперсні (фотометри), такі, що розділяються у свою чергу на виборчі та невиборчі, тобто, що мають або не мають детектора, чутливого лише до певної довжини хвилі (наприклад, фотоелемент зі зовнішнім фотоефектом і термоелемент).

Спектрофотометри, що зазвичай працюють за диференціальною схемою, громіздкі та придатні для заводських і наукових лабораторій. Працюють вони

на принципі дисперсії, тобто розділення пучка інфрачервоного випромінювання на хвилі, які максимально абсорбуються аналізованим газом, при наступній довжині їх: CH_4 – 2915 см^{-1} ; CO – 2169 см^{-1} ; CO_2 – 2342 см^{-1} і так далі [8].

Фотометри – порівняно невеликі прилади, які першими знайшли застосування в шахті. Вони вимірюють повну потужність нерозчленованого пучка інфрачервоного випромінювання. Природно, що фотометри менш чутливі, ніж спектрофотометри, оскільки виділене монохроматором відповідне даному газу випромінювання забезпечує значно більшу процентну зміну відношення інтенсивності падаючого випромінювання до того, що пройшло. Проте для застосування спектрофотометрів в гірській справі необхідно ще в значній мірі спростити їх конструкцію і розміри. Є багато оригінальних рішень, що вже знайшли застосування в рудничній газометрії.

Інфрачервоні аналізатори диференціюються по двох ознаках: по спектру інфрачервоного випромінювання, що поглинається, і по вибірковості приймача. Відповідно до цього інфрачервоний газоаналізатор будь-якого різновиду може бути віднесений до одного з наступних типів:

- а) недисперсійному невиборчому;
- б) недисперсійному виборчому;
- в) дисперсійному.

1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою

За результатами проведених досліджень можна зробити висновки:

1. Отримані результати досліджень дозволяють визначити початкові данні для розробки 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 та відключення електроенергії складає 0,8 с [9] за об'ємною концентрацією метану і 2,0 с зі

швидкодією наростання концентрації метану 0,5 % в секунду.

2. Серед проаналізованих методів, оптичні методи забезпечують достатньо високу швидкодію, але наявність обурюючих факторів в оптичному вимірювальному каналі, таких як висока концентрація вугільного пилу та вологість, призвело до введення в існуючих засобах вимірювання концентрації метану пилових фільтрів і пристроїв осушення газу. Швидкодія таких вимірювачів знижена транспортним часом підготовки аналізованої проби газу. Виключення засобів пробопідготовки зі складу вимірювача та забезпечуючи під час розробки відкритий оптичний канал з реалізацією алгоритмів компенсації обурюючих факторів в атмосфері дозволить збільшити швидкодію та точність вимірювання концентрації метану тому інфрачервоні спектрометричні газоаналізатори можуть виявитися більш універсальними і придатними для шахт з незвичайним характером газовиділення.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ

2.1 Огляд основних компонент і узагальнена структурна схема інфрачервоного вимірювача концентрації метану

До складу типового спектрального пристрою входять (див. рис. 2.1) [8] джерело випромінювання 1, передаюча оптична система 2, диспергуючий пристрій 3 (пристрій для розкладання випромінювання в спектр), приймальна оптична система 4, приймач випромінювання 5 і пристрій, що реєструє, 6. Джерело випромінювання створює матеріальний носій корисної інформації – потік випромінювання. Джерело випромінювання може конструктивно входити до складу пристрою або бути віддалений від нього на значну відстань. Він також може бути високотемпературним випромінювачем, що забезпечує збудження спектру проби, що досліджується. Для виділення спектрів поглинання, як джерело використовуються засіб утворення суцільного спектру, на фоні якого спостерігаються лінії або смуги поглинання. Важлива роль належить джерелам світла, як пристроям для калібрування та градуювання їх спектральних енергетичних характеристик. Оптична передаюча система формує потік від джерела випромінювання та направляє його на диспергуючий пристрій. У переважній більшості спектральних пристроїв використовуються коліматорні системи.

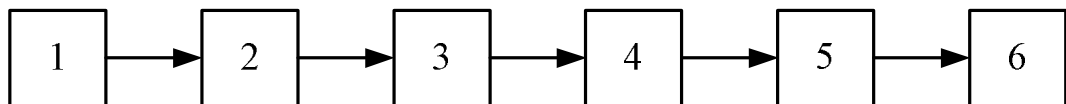


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема спектрального пристрою

Диспергуючий пристрій – це важлива частина спектрального пристрою, оскільки він здійснює розкладання випромінювання на монохроматичні складові, які використовуються для детального аналізу.

Приймальна оптична система призначена для формування на приймачі потоку, який розкладено в спектр випромінювання [8]. Приймач енергії випромінювання використовується для перетворення сигналу, що переноситься потоком, до електричного сигналу, або в зміну оптичної щільності, або в зорові відчуття спостерігача.

Пристрій, що реєструє, необхідний для підсилення електричних сигналів приймача, перетворення їх до найзручнішого вигляду для реєстрації.

Окремі елементи оптичної системи в спектральних пристроях деяких типів можуть бути відсутнім або бути суміщені в одному пристрої. Окрім перерахованих вузлів до складу спектральних пристроїв зазвичай входять додаткові елементи (модулятори, компенсатори, пристрої програмного керування режимом роботи, скануючі механізми і т.п.), а також приставки для проведення спеціальних вимірювань.

2.2 Огляд структурних оптичних схем вимірювача газових компонент

Останнім часом за кордоном та в Україні знайшли широке застосування газоаналізатори з твердотілими приймачами випромінювання. Принцип дії та схемні рішення пристроїв з твердотілими приймачами засновані на виборчому поглинанні молекулами газу інфрачервоного випромінювання [5]. Будь-який інфрачервоний газоаналізатор з неселективним приймачем випромінювання складається з наступних вузлів: джерело ІЧ-випромінювання, модулятор, робоча кювета, світлофільтр і підсилювально-вимірювальний пристрій. Найбільш поширення, як приймачі випромінювання в цих газоаналізаторах набули фоторезистори і фотодіоди.

Однопроменеві газоаналізатори – найпростіші з цього класу пристроїв. У однопроменевих пристроях (див. рис. 2.2) випромінювання джерела проходить світлофільтр, робочу кювету з досліджуванним газом і падає на приймач. На рис. 2.2 позначено: 1 – джерело ІЧ – випромінювання; 2 – світлофільтр; 3 – модулятор; 4 – двигун; 5 – кювета; 6 – приймач ІЧ – випромінювання; 7 –

прилад індикації. Сигнал приймача підсилюється та вимірюється тим або іншим пристроєм. За таким принципом побудовані газоаналізatori: Beckman 598 (США) [10], серія SS фірми ADC (Великобританія), MIRAN-101 фірми «Foxboro» (США) [5, 8].

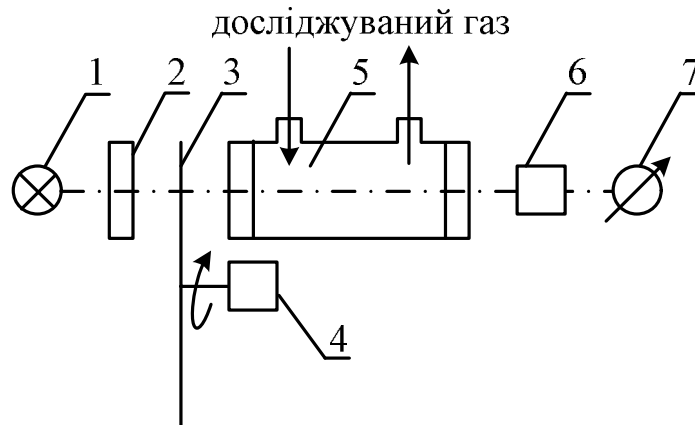


Рисунок 2.2 – Однопроменевий газоаналізатор з неселективним приймачем випромінювання

Під час розвитку цього класу пристроїв фірма «Foxboro» випустила газоаналізatori MIRAN-104 [11] з клиновими інтерференційними фільтрами, які дозволяють одним пристроєм вимірювати концентрацію широкого круга газоподібних речовин. Для забезпечення максимальної чутливості ця ж фірма застосовує багатоходову робочу кювету з довжиною оптичного шляху до 20 м (див. рис. 2.3) [5, 8]. На рис. 2.3 позначено: 1– джерело ІЧ – випромінювання; 2 – багатоходова робоча кювета; 3 – приймач ІЧ – випромінювання

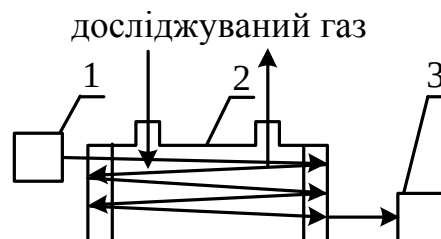


Рисунок 2.3 – Застосування багатоходової робочої кювети у однопроменевому газоаналізаторі з неселективним приймачем випромінювання

Газоаналізатор MIRAN-80 оснащений мікроконтролером, в пам'ять якого записується програма калібрування, вимірювання смуги пропускання, фільтру, розрахунку одержаних даних. MIRAN-80 застосовується під час аналізу складних газових сумішей, де кількість компонентів досягає 11.

Усі однопроменеві недиференціальні пристрої мають істотний недолік: сигнал з приймача змінюється зі зміною його чутливості, інтенсивності випромінювання джерела та підсилення, тому необхідне часте калібрування, що вимагає немало часу, і, крім того, це не завжди зручно для пристроїв безперервної дії.

У двопробових пристроях (див. рис. 2.4) випромінювання джерела розділяється на два пучки. На рис. 2.4 позначено: 1 – направляючі дзеркала; 2 – джерело ІЧ – випромінювання; 3 – світлофільтр; 4 – модулятор; 5 – двигун; 6 – робоча кювета; 7 – порівняльна кювета; 8 – приймач ІЧ – випромінювання; 9 – прилад індикації. Один з них проходить через робочу кювету з аналізованим газом, інший – через кювету порівняння з речовиною, не поглинаючою ІЧ-випромінювання на аналітичній довжині хвилі. Обидва потоки зводяться на приймальний пристрій, і далі реєструється відношення або логарифм відношення інтенсивності обох потоків. Перевагами двопробових пристроїв є вища стабільність і незалежність до зміни параметрів, що дестабілізують.

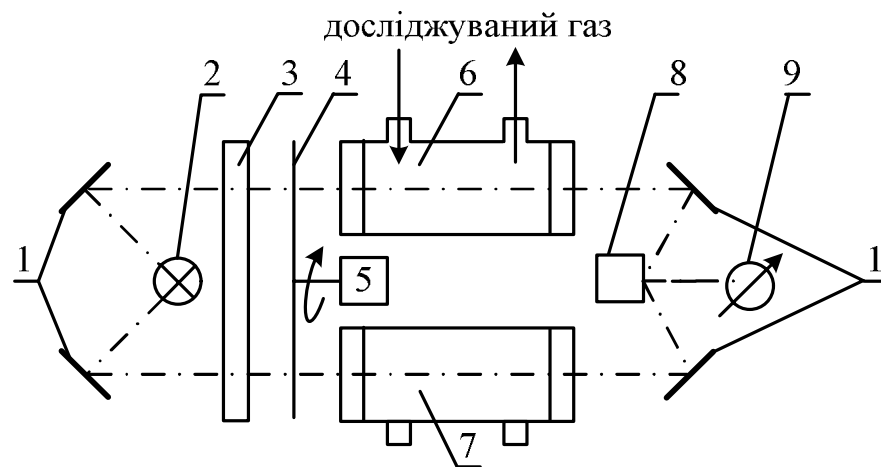


Рисунок 2.4 – Двопробовий газоаналізатор з неселективним приймачем випромінювання

Не дивлячись на очевидні переваги та універсальність двохраненевих пристроїв, з часом стали помітні їх недоліки, особливо під час використання в промисловості. До основних недоліків необхідно віднести різний ступінь забруднення кювет і чутливість до компонентів, що не вимірюються, з накладенням смуг поглинання. Пристрої розділення та відомості пучків випромінювання вельми складні. Тому пізніше стали застосовувати і випускати пристрої іншого класу – дво- та багато хвильові.

На рис. 2.5 наведено схему таких пристроїв, де позначено: 1 – джерело ІЧ- випромінювання; 2 – світлофільтр робочий; 3 – світлофільтр порівняльний; 4 – модулятор; 5 – кювета; 6 – приймач ІЧ-випромінювання; 7 – індикатор. У цих пристроях світлофільтрами виділяються область максимального поглинання аналізованої речовини та область, в якій поглинання відсутнє. Ці схеми, що поєднують стабільність двохраненевих пристроїв і простоту однохраненевих, одержали назву двохраневих або бічастотних. За такою схемою реалізовано газоаналізатори моделі 206 фірми «APASON» (США). У цих приладах ІЧ-випромінювання прямує через обтюратор, що обертається, де встановлені два вузькосмутих інтерференційних фільтра, вибрані як вимірювальний та еталонний. Організувати роботу газоаналізатору на вимірювання окремого компонента в суміші можна, якщо встановити відповідні світлофільтри вимірювання та порівняння.

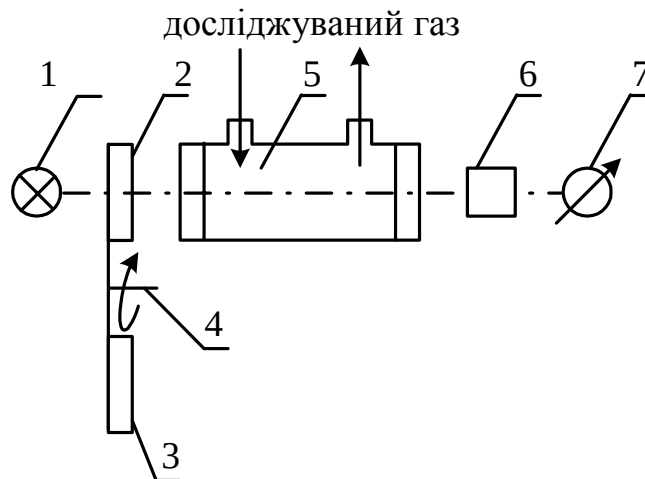


Рисунок 2.5 – Двохраневий газоаналізатор

Важливою особливістю зі застосуванням світлофільтрів є те, що на їх базі порівняно легко можна реалізувати пристрої для багатокомпонентного аналізу. Так, у пристрої P1-503 АН-S фірми RIKEN (Японія) встановлені два аналітичних і один фільтр порівняння, що дозволяє контролювати одночасно вміст двох газів. У диску модулятора пристрою Infragas 500 фірми KENT (Великобританія) встановлені п'ять аналітичних і один фільтр порівняння. Цей пристрій може одночасно аналізувати п'ять компонентів.

Фірма ANATEK розробила модель газоаналізатора PSA- 401, в якій зміна світлофільтрів відбувається поворотно-поступальною ходою фільтруючого блоку з частотою 6 Гц. Випромінювання, падаюче на приймач, промодульоване несучою частотою 600 Гц.

Слід зазначити, що твердотілі приймачі не мають тих унікальних якостей, якими володіють оптико-акустичний приймач. Вибірковість і чутливість визначаються інтерференційними фільтрами, що в основному використовуються. Тому для поліпшення вибірковості використовується інший тип пристроїв з газонаповненим фільтром (див. рис. 2.6) , який заповнений сумішшю аналізованого компонента з азотом. На рис. 2.6 позначено: 1 – джерело ІЧ-випромінювання; 2 – газонаповнений фільтр-модулятор; 3 – світлофільтр; 4 – кювета; 5 – ІЧ-випромінювання; 6 – індикатор.

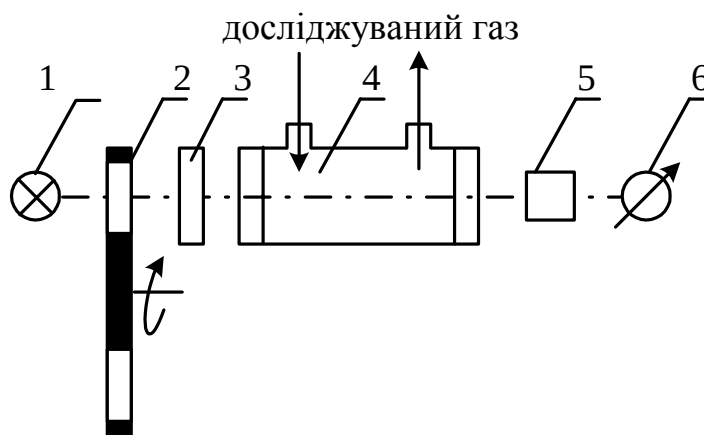


Рисунок 2.6 – Газоаналізатор з газонаповненим фільтром

ІЧ-випромінювання по черзі проходить через газонаповнений модулятор, що містить аналізований компонент та інертний газ. Зовнішнім світлофільтром з виділяється спектральний діапазон, що цікавить. Після проходження кювети випромінювання падає на приймач. На рис. 2.7 ілюструється принцип дії таких пристроїв. У відсутності аналізованого компонента в робочій кюветі сигнал від приймача відповідає сигналу на рис. 2.7, де імпульс 1 утворюється під час проходження випромінювання через газовий фільтр, який заповнений аналізованим компонентом; сигнал 2 утворюється під час проходження випромінювання через газовий фільтр, який заповнений азотом. У присутності аналізованого газу в кюветі сигнал з приймача має форму, зображену на рис. 2.7 пунктиром. Обидва сигнали змінилися, але абсолютна зміна сигналу 2 більше, ніж зміна імпульсу 1. Це відбувається через те, що рівень імпульсу 1 вже зменшений поглинанням в газовому фільтрі компонентом, що аналізується. Обробляючи зміни сигналів 1 і 2, на виході вимірювального пристрою одержують вимірювання, пропорційні концентрації аналізованого газу в кюветі. За таким принципом дії побудовані аналізатори: серія RF фірми ADC (Великобританія), модель 48 фірми «Thermo Electron» (США), модель 3003 фірми «Dasibi» (США). Останні дві моделі оснащені багатоходновою робочою кюветою, що дозволяє істотно підвищити чутливість аналізу.

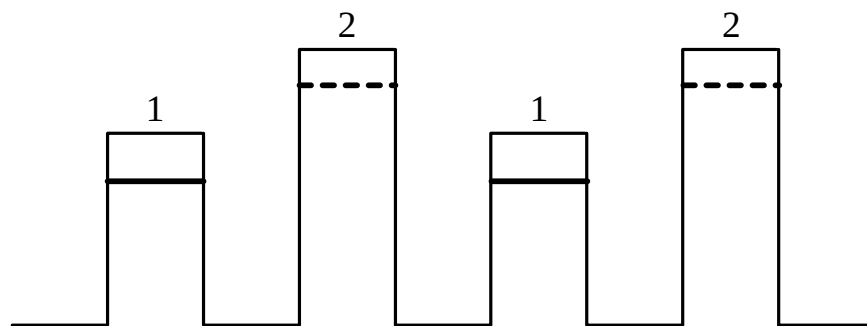


Рисунок 2.7 – Сигнал, що поступає з приймача випромінювання
газоаналізатора з газонаповненим модулятором

————— – аналізований компонент в кюветі відсутній;

----- – з аналізованим компонентом в кюветі

Вимірювальний блок фірми «Sensors., inc.» (США), використовує пульсуюче джерело ІЧ – випромінювання, що дозволяє не використовувати механічний модулятор. Схема вимірювання є двоканальною (див. рис. 2.8). На рис. 2.8 позначено: 1 – пульсуюче джерело ІЧ-випромінювання; 2 – кювета; 3 – світлофільтр; 4 – приймач ІЧ-випромінювання; 5 – індикатор. Використовування мікропроцесорної техніки дає можливість виключити порівняльний канал, а як порівняльний сигнал використовувати сигнал, записаний до пам'яті контролера під час «обнуління» пристрою (без аналізованої суміші). Обнуління відбувається автоматично, за заданим контролером регламентом і займає не більш 30 с.

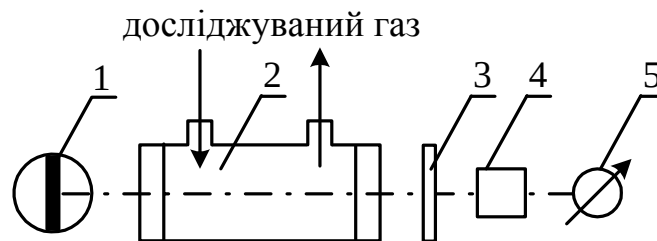


Рисунок 2.8 – Двоканальний газоаналізатор з неселективним приймачем випромінювання та пульсуючим джерелом випромінювання

Використання мікропроцесорної техніки дозволяє також зберігати результати вимірювань на зовнішній пам'яті, коректувати алгоритм роботи пристрою та разі потреби без переробки конструкції пристрою, поліпшити експлуатаційні характеристики газоаналізатора завдяки використанню вбудованої автодіагностики та автоматизації процесів підготовки і проведення вимірювання.

Перспективний розвиток пристроїв під час удосконалення засобів обробки інформації, що поступає з приймача випромінювання, а також створення схем з використанням нової елементної бази (типу імпульсних джерел випромінювання) і нестандартною компоновкою.

2.3 Розробка оптичної схеми вимірювача концентрації метану

Серед проаналізованих методів, оптичні методи забезпечують достатньо високу швидкість, але наявність обурюючих факторів в оптичному вимірювальному каналі, таких як висока концентрація вугільного пилу і вологість, привело до введення в існуючих засобах вимірювання концентрації метану пилових фільтрів і пристроїв осушення газу. Швидкість таких вимірювачів знижена транспортним часом підготовки аналізованої проби газу. Розробка алгоритмів компенсації обурюючих факторів в атмосфері, дає підставу припускати, що інфрачервоні спектрометричні газоаналізатори можуть виявитися більш універсальними і придатними для шахт з незвичайним характером газовиділення [12, 13].

Проаналізувавши переваги та недоліки існуючих вимірювачів газових компонент, що засновані на оптико-абсорбційному методі вимірювання, розроблена функціональна оптична схема вимірювача концентрації метану для умов вугільних шахт, яку наведено на рис. 2.9.

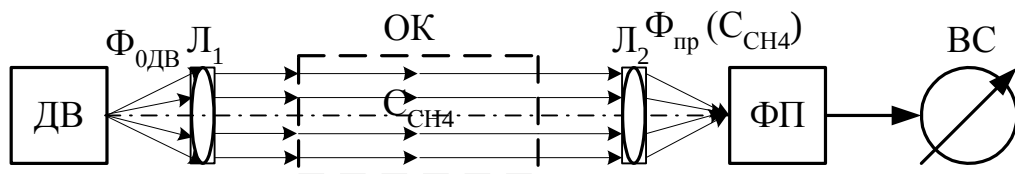


Рисунок 2.9 – Функціональна оптична схема вимірювача концентрації метану

Під час обліку вимог природної циркуляції аналізованого повітря через вимірювальну камеру шляхом вільної конвекції та дифузії, що обумовлено різною питомою вагою повітря та шахтного газу, рекомендується використовувати в оптичній системі вимірювача концентрації метану, що розробляється, відкритий оптичний канал (ОК).

Джерело випромінювання (ДВ) формує з лінзою (L_1) направлений рівномірний потік випромінювання ($\Phi_{0ДВ}$), який проходить відкритий оптичний

канал з вимірюваною концентрацією метану (C_{CH_4}). На лінзу (L_2), що фокусує, поступає ослаблений потік випромінювання процесами поглинання інфрачервоної радіації ($\Phi_{пр}(C_{CH_4})$), який несе інформацію щодо зміни концентрації метану в оптичному каналі. Лінза L_2 фокусує потік випромінювання до вікна фотоприймача (ФП), який перетворює одержаний потік в електричний сигнал. Електричний сигнал від фотоприймача, який містить інформацію щодо зміни концентрації метану, надходить до вимірювальної системи (ВС) газоаналізатора, що розробляється. ВС формує видачу інформації щодо зміни концентрації метану на індикатори, а також передачу інформації до системи газового захисту вугільної шахти [12, 13].

2.4 Розробка структурної схеми оптико-електронного вимірювача концентрації метану

Структурна схема оптико-електронного вимірювача концентрації метану для системи газового захисту вугільної шахти розбита на такі блоки:

1. Драйвер керування світловипромінюючого діода (Драйвер СВД), який забезпечує імпульсний режим роботи СВД і стабілізацію живлячого струму. На вхід драйвера СВД подається сигнал керування (СК ДС_{СВД}), що забезпечує імпульсний режим роботи схеми.

2. Драйвер керування фотодіода (Драйвер ФД), який забезпечує фотогальванічний режим роботи ФД. Вихідний сигнал Драйвера ФД: $U_{вих\ ФД}(C_{CH_4})$ сигнали щодо зміни вимірювальної концентрації метану.

3. Мікропроцесорна система (МПС), яка забезпечує сигналами керування Драйвери СВД та ФД, а також приймає та перетворює аналогові сигнали щодо зміни концентрації метану.

Для живлення СВД Lms34LED-CG [14] 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 СВД наведена на рис. 2.10, де позначено: СВД – світловипромінюючий діод, ДС – джерело струму, що керується напругою; ДЖ – джерело живлення; ДОН – джерело опорної напруги; К – ключ; СК від МПС – сигнал керування від мікропроцесорної системи

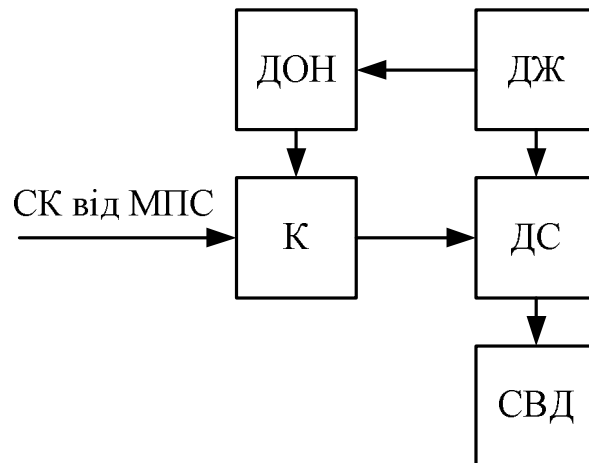


Рисунок 2.10 – Структурна схема керованого ДС для живлення СВД

До джерела струму (ДС), яке 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 ділянком напруги, тим самим передбачається плавне регулювання живлячого струму СВД.

Формування імпульсної послідовності живлячого струму СВД виконується сигналами керування від мікропроцесорної системи (СК 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.

Фотодіоди можуть працювати з нульовим зсувом (режим фотогальванічний) або зворотним зсувом (режим фотопровідний). У фотогальванічному режимі фотодіод має найбільшу лінійність, проте, велика швидкість перемикання досягається у фотопровідному режимі, але втрачається лінійність. Під час зворотного зсуву, невеликий струм все ж таки присутній,

навіть у випадку, якщо фотодіод взагалі не освітлений, цей струм називається темновим. Під час фотогальванічного режиму темного струму не буває. У фотогальванічному режимі шум діода породжений тепловим шумом шунтує опором (шум Johnson'a). Дробовий шум – додаткове джерело шуму у фотопровідному режимі, викликаний протіканням струму. Фотодіоди звичайно оптимізуються під час розробки або для фотогальванічного режиму, або для фотопровідного режиму, але не для обох відразу. Фотодіод Lms34PD-CG оптимізований під час розробки [15] для фотогальванічного режиму.

Структурну схему каналу вимірювання потоку ІЧ-випромінювання швидкодіючого вимірювача концентрації метану наведено на рис 2.11 [12, 13], де позначено: ФД – фотодіод; ФП – фотопідсилювач; НП – нормуючий перетворювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МПС – мікропроцесорна система.

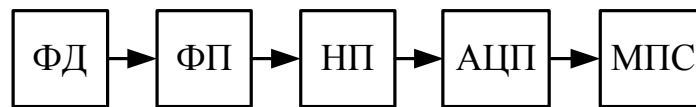


Рисунок 2.11 – Структурна схема каналу вимірювання потоку ІЧ-випромінювання швидкодіючого вимірювача концентрації метану

Інформація у вигляді зміни потоку ІЧ-випромінювання, яка еквівалента зміни концентрації метану у вимірюваному об'ємі подається на фотодіод (ФД), який працює в фотогальванічному режимі, і підключений до фотопідсилювача (ФП). Вихідний електричний сигнал ФП пропорційний вимірюваній концентрації метану подається до нормуючого перетворювача (НП), де сигнали щодо зміни концентрації метану приводиться до вхідного рівня аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює її в цифровий код і передає на мікропроцесорну систему (МПС).

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ

3.1 Розробка схеми джерела струму для живлення світлодіода

Вимоги, що пред'являються до ДС для живлення СВД вимірювача:

- заземлене навантаження;
 - прямокутні імпульси струму в навантаженні;
 - діапазон зміни амплітуди імпульсів струму, А від 1,4 до 1,6;
 - частота повторення імпульсів струму, кГц 2;
 - період повторення імпульсів струму, мкс 500;
 - діапазон зміни тривалості імпульсу струму, мкс від 10 до 20;
 - тривалість фронту імпульсу, мкс не більш 2;
 - тривалість спаду імпульсу, мкс не більш 3;
 - напруга керування від МПС
- | | |
|-----------------|-------------------|
| U_{KEP}^0 , В | плюс (0,3...0,4); |
| U_{KEP}^1 , В | плюс (4,8...4,9); |
- напруга живлення, $U_{ж}$, В ± 9 ;
 - нестабільність напруги джерела живлення, % $\pm 0,01$.

Схему електричну принципову джерела струму для живлення СВД наведено на рис. 3.1. Для формування імпульсного сигналу напруги з параметрами: період повторення імпульсів $T=500$ мкс та тривалість паузи $t_{II}=(10-20)$ мкс використано мультівібратор на операційному підсилювачі DA_1 [16 – 19] Мультівібратор має змінний коефіцієнт передачі кола негативного зворотного зв'язку. Для формування періоду повторення імпульсів використовуються R_2 , C_1 і VD_1 , постійна часу складає величину $\tau_1 = C_1 \cdot R_2$, для формування тривалості паузи – R_3 , R_5 , C_1 і VD_2 , постійна часу $\tau_2 = C_1 \cdot (R_3 + R_5 + r_{npVD2})$. Резистори R_1 , R_4 утворюють коло позитивного зворотного зв'язку з коефіцієнтом передачі:

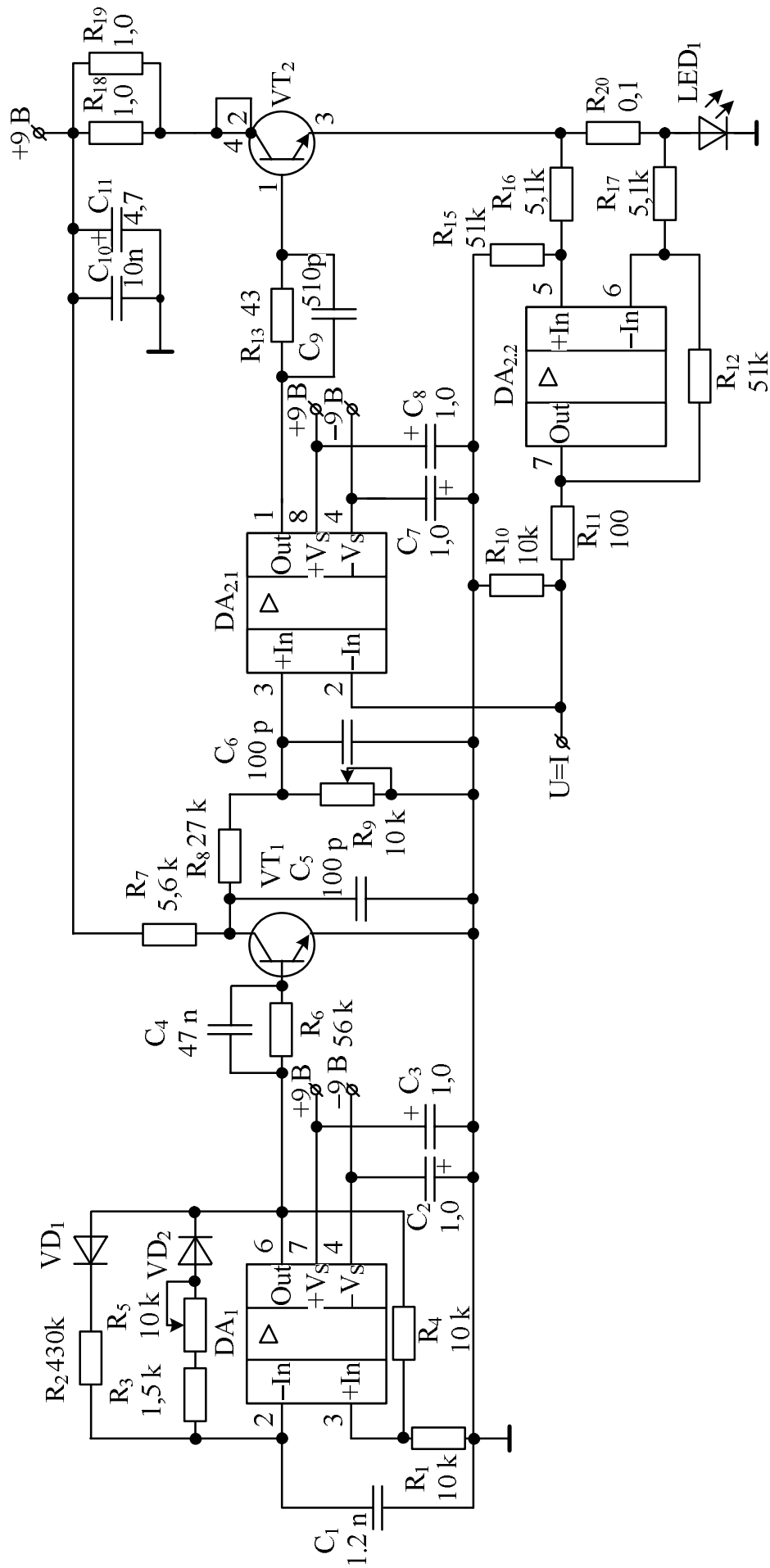


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципу джерела струму для живлення СВД

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_4}.$$

Для формування сигналу напруги з необхідними параметрами: тривалість імпульсу $t_I = (10 - 20)$ мкс та діапазон зміни вихідної опорної напруги від 0 до 1,6 В, використовується транзисторний ключ на VT₁. Опорна вихідна напруга транзисторного ключа визначається за співвідношенням:

$$U_{оп} = (U_{ж} - U_{KE_{нас}}) \cdot \frac{R_9}{R_8 + R_9}.$$

Отриманий сигнал опорної напруги поступає на джерело струму, яке побудовано на основі операційного підсилювача DA₂ та транзистора VT₂. Джерело струму побудоване на мікросхемі DA_{2.1}, для отримання значення вихідного струму джерела $I_{BHX \max} = 1,6$ А використовується схема з підключенням навантаження до силового джерела напруги через транзистор VT₂. Падіння напруги з резистора $R_{20} = 0,1$ Ом знімається за допомогою диференціального (різницевого) підсилювача побудованого на базі операційного підсилювача DA_{2.2}. Коефіцієнт підсилення за напругою диференціального підсилювача на DA_{2.2} визначається відношенням [20 – 22]:

$$K_{U_{дп}} = \frac{R_{12}}{R_{17}} = 10.$$

Вихідний сигнал диференціального підсилювача DA_{2.2} порівнюється із сигналом опорного джерела напруги ($U_{оп}$) за допомогою DA_{2.1}, що має великий коефіцієнт підсилення, тому підсилення кола негативного зворотного зв'язку буде достатньо великим. Для контролю струму, який протікає через СВД використовується вихід, на якому має місце напруга, величина якої пропорційна та чисельно дорівнює струму, що проходить через СВД.

3.2 Розробка аналогової частини вимірювального каналу

Вимоги, що пред'являються до аналогового каналу вимірювача концентрації метану:

- діапазон зміни амплітуди струму фотодіода, мкА від 0,4 до 0,8;
- режим роботи ФД близький до короткого замикання;
- максимальне значення різниці потенціалів на ФД, мВ не більш 1;
- операційний підсилювач ФПП з польовими транзисторами з p-n-переходом на входах (FET input);
- лінійність характеристики передачі ФПП;
- мінімальний рівень шуму ФПП;
- максимальне значення вхідного струму ФПП, пА не більш 10;
- мінімальне значення амплітуди вихідної напруги ФПП, В не менше 0,5;
- смуга пропускання ФПП, МГц не більш 1,0;
- діапазон зміни амплітуди вхідної напруги АД, В від + 2,5 до + 4,0;
- максимальне значення вихідної напруги АД, В не більш +7,5;
- діапазоні зміни вихідної напруги НП, В від +0,2 до +4;
- смуга пропускання НП, Гц не більш 10;
- напруга живлення, $U_{ж}$, В ± 9 ;
- нестабільність напруги джерела живлення, % $\pm 0,01$.

Схему електричну принципову аналогового каналу вимірювача концентрації метану наведено на рис. 3.2. Для отримання лінійної залежності вихідного сигналу напруги ФПП від потоку ІЧ-випромінювання використовується схема вимірювача струму ФД. Цей вимірювач повинен мати нульовий вхідний імпеданс, щоб падіння напруги на діоді також було нульовим. Нульовий імпеданс забезпечує операційний підсилювач DA_1 ,

оскільки завдяки великому підсиленню його зворотний зв'язок встановлює нульову різницю потенціалів між входами. Для зниження величини опору зворотного зв'язку R_3 в ФПП використовується Т-подібне включення [20, 23].

Нульове значення напруги на фотодіоді VD_1 підтримується потенціалом віртуальної землі операційного підсилювача DA_1 , а струм короткого замикання I_{PD} перетворюється у напругу [20]:

$$U_{\text{вих ФПП}} = -I_{PD} \cdot \frac{R_3 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_3 + \frac{1}{j\omega C_1}} \cdot K_{U \text{ ФПП}}.$$

Коефіцієнт передачі за напругою ФПП визначається за формулою [16 – 19]:

$$K_{U \text{ ФПП}} = 1 + \frac{R_6}{R_4}.$$

Для отримання як можна більшого коефіцієнту перетворення струму ФД в напругу величину опору R_3 вибирають якомога більше, наскільки дозволяють існуючі обмеження. При великому значенні опору цей резистор починає давати значний температурний дрейф напруги через температурний коефіцієнт вхідного струму підсилювача. Розробниками даного типу ФД рекомендується обмежити величину опору зворотного зв'язку на рівні $R_3 = (10 - 30) \text{ кОм}$ [24]. Для обмеження смуги пропускання ФПП використовується ємність C_1 , величина якої визначається за наступним співвідношенням:

$$C_1 = \frac{10}{\omega \cdot R_3}.$$

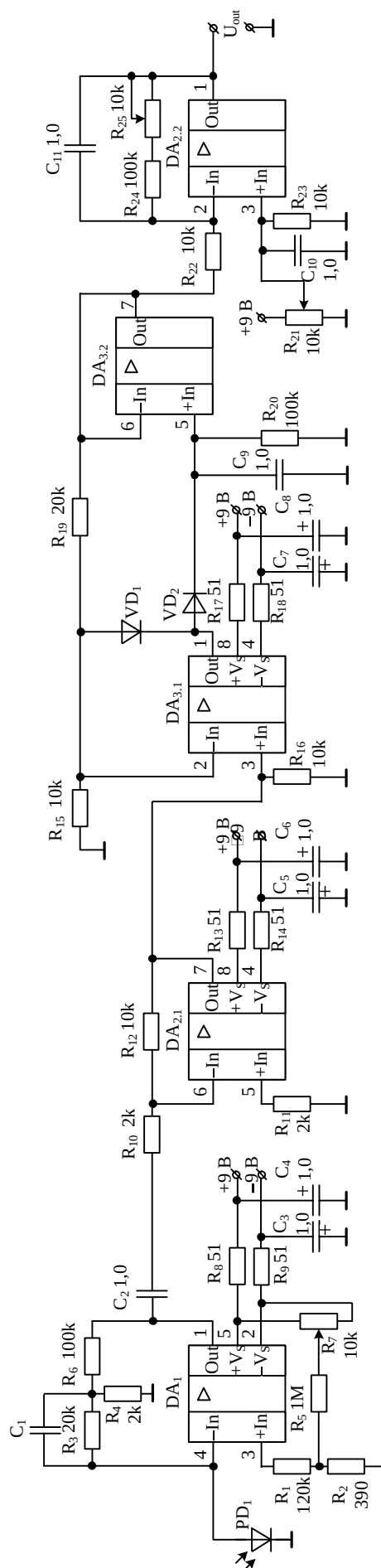


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова аналогового каналу вимірювача концентрації метану

Для стійкої роботи підсилювача величина коефіцієнту передачі за напругою обмежена на рівні 50. Для компенсації величини темнового струму ФД за допомогою схеми установки нуля ФПП (R_4 , R_5 і R_7) подається напруга зсуву на неінвертуючий вхід DA_1 [24].

ПП вихідного сигналу ФПП зібрано на $DA_{2.1}$ за схемою включення інвертуючого підсилювача, коефіцієнт підсилення за напругою може бути визначений за наступною формулою [16 – 19]:

$$K_{U_{\text{ПП}}} = -\frac{R_{12}}{R_{10}}.$$

Для отримання інформативної складової щодо зміни концентрації метану у вихідному сигналі ПП використане АД, який зібрано на DA_3 . Для розв'язки від навантаження на виході АД включений повторювач на $DA_{3.2}$ до кола загального негативного зворотного зв'язку з вхідним підсилювачем на $DA_{3.1}$. Схема включення АД дозволяє зменшити додаткову похибку детектування, величину якої обумовлено напругою зсуву нуля та вхідними струмами операційного підсилювача DA_3 [20]. Постійна часу АД складає величину $\tau_{\text{АД}} = C_9 \cdot R_{20}$. Коефіцієнт передачі за напругою, який визначається як відношення середнього значення вихідної напруги АД до середньовипрямленого значення вхідної напруги, може бути розрахований за співвідношенням:

$$K_{U_{\text{АД}}} = -\frac{R_{19}}{R_{15}}.$$

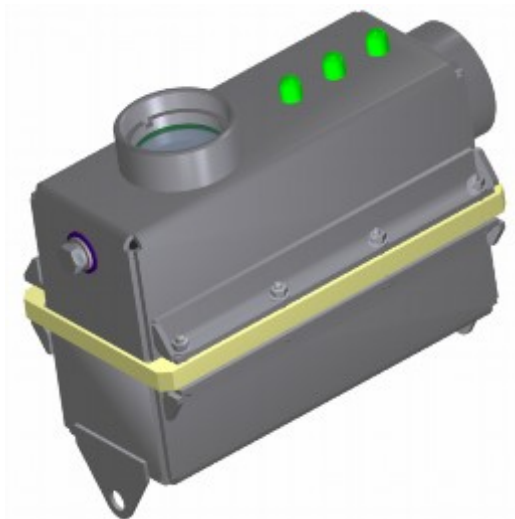
Вихідний сигнал АД надходить до НП, який зібраний на $DA_{2.2}$ за схемою включення інвертуючого підсилювача, коефіцієнт підсилення за напругою може бути визначений за формулою:

$$K_{U_{НП}} = -\frac{R_{24} + R_{25}}{R_{22}}.$$

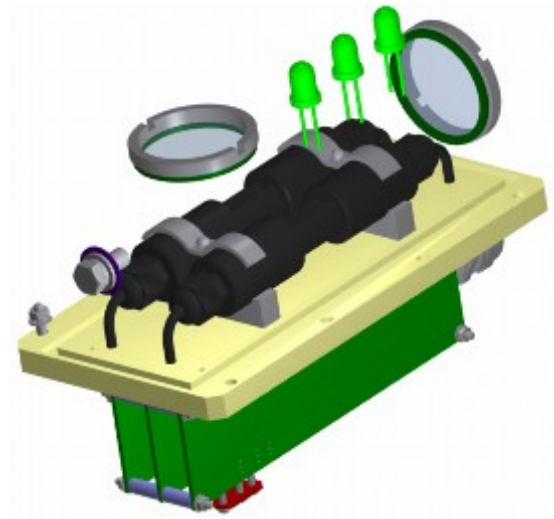
Для масштабування та усунення мультиплікативної складової похибки вимірювань використовується резистор R_{25} у колі зворотного зв'язку DA_{2.2}. Для установки нуля та усунення адитивної складової похибки вимірювань використовується резистор R_{21} . НП також виконує додаткову фільтрацію низької частоти вихідного сигналу вимірювального каналу, для цього паралельно колу негативного зворотного зв'язку (R_{24} і R_{25}) встановлений конденсатор C_{11} .

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ЗОВНІШНЬОГО ВИГЛЯДУ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ

Під час проектування вимірювача концентрації метану розроблено конструкцію його корпусу, 3D-модель зовнішнього вигляду якого наведено на рис. 4.1, а, без захисних кришок на рис. 4.1, б. [25].



а)



б)

Рисунок 4.1 – 3D-модель зовнішнього вигляду корпусу
вимірювача концентрації метану (а) та його конструктивне
виконання без захисних кришок (б)

Вимірювач має два відсіки: оптоелектронних компонент та електронних перетворювачів. Електронну частину з'єднано телекомунікаційним кабелем з системою аерогазового захисту шахт. На корпусі відсіку оптоелектронних компонент виведено індикаторні СВД для якісного відображення вимірюваних значень концентрації метану. Вимірювач встановлюється під склепінням гірничих виробок вугільних шахт індикаторними СВД вниз.

У конструкції передбачено природну циркуляцію повітряного потоку крізь відсік оптоелектронних компонент вимірювача. Для запобігання запилення вимірювача забір повітря здійснюється на протилежній стороні вимірювача по відношенню до повітряного потоку. Для підвищення інтервалу

часу між повірками та показників метрологічної надійності вимірювача, запропоновано використовувати ткану сітку, розмір осередку якої складає $0,04 \times 0,03$ мм [26]. Використання сітки на вхідному отворі забору повітря забезпечує зниження ступеня турбулентності повітряного потоку, що дозволило істотно зменшити запилення оптоелектронних компонентів вимірювача. Потік пилоповітряної суміші після проходження крізь оптичні канали виходить крізь випускний отвір, який знаходиться знизу вимірювача. При цьому забезпечується циркуляція аналізованої пилогазової суміші та видалення залишків пилу.

ВИСНОВКИ

Для створення безпечних умов праці гірників зі зростаючою потребою у видобутку вугілля на пластах, небезпечних за раптовими викидами вугільного пилу і газу, необхідне створення швидкодіючих вимірювачів концентрації газових компонент в рудничній атмосфері вугільних шахт. Величину установки за метаном необхідно забезпечити у 2 рази менше нижньої межі вибухонебезпеки метану – $2,5^{об}\%$. Максимальний допустимий час спрацьовування вимірювача повинен бути не більш (0,7–0,75) с. Тому згідно вимог ДСТУ [9] час спрацьовування цих вимірювачів повинен складати за об'ємною часткою метану – 0,8 с., за швидкістю наростання об'ємної частки 0,5 % у секунду – 2,0 с.

З аналізу методів вимірювань концентрації метану в атмосфері вугільних шахтах витікає, що найбільша швидкодія вимірювань з необхідною точністю контролю має оптико-абсорбційний метод, який і встановлений в основу розробки вимірювача концентрації метану.

Розроблена та обґрунтована структурна електронного пристрою вимірювання концентрації метану, яка враховує вимоги циркуляції аналізованої атмосфери вугільної шахти через вимірювальну кювету, що забезпечується відкритим оптичним каналом. Розроблена конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою вимірювання концентрації метану для умов атмосфери вугільних шахт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошин, Н.Е. Внезапные выбросы и способы борьбы с ними в угольных шахтах / Н.Е. Волошин. – К.: Техника, 1985. – 127 с.
2. Карпов, Е.Ф. Автоматическая защита и контроль рудничной атмосферы / Е.Ф. Карпов, И.Э. Биренберг, Б.И. Басовский. – М.: Недра, 1984. – 286 с.
3. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. – М.: Недра, 1986. – 447 с.
4. ДНАОП 10.0-1.01-05. Правила безпеки у вугільних шахтах: Нормативний акт про охорону праці у вугільній промисловості України / М-во вугільн. пром-сті України. – К.: Основа, 2004. – 420 с.
5. Щербань, А.Н. Методы и средства контроля рудничного газа (метана) / А.Н. Щербань, Н.И. Фурман. – К.: Наукова думка, 1985. – 412 с.
6. Справочник химика: в 6 т. Т. 4: Аналитический анализ, спектральный анализ, показатели преломления /Под. общ. ред. Б.П. Никольского. – Л.: Химия Ленингр. отделение. – 1967. – 920 с.
7. Вовна, О.В. Оптиелектронні вимірювальні системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт: монографія / О.В. Вовна. – Покровськ (Красноармійськ): ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 336 с.
8. Бреслер, П.И. Оптические абсорбционные газоанализаторы и их применение / П.И. Бреслер. – Л.: Энергия, 1980. – 164 с.
9. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009-02-01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
10. Science History Institute [Електронний ресурс] / Beckman Models 598 and 598-BP CO Analyzers. – Електронні данні. – Режим доступу: <https://digital.sciencehistory.org/works/j9602073n>, вільний. – Загл. з екрану.
11. Rigal Bennett [Електронний ресурс] Miran 104 Portable Gas Analyzer. – Електронні данні. – Режим доступу: <http://www.rigal-bennett.com/Catalogue/Product?refnumber=N10024-51>, вільний. – Загл. з екрану.

12. Вовна, А.В. Методы и средства аналитического измерения концентрации газовых компонент и пыли в рудничной атмосфере угольных шахт / А.В. Вовна и др. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 260 с.

13. Вовна, А. Методы и средства измерения концентрации газовых компонент [Электронный ресурс] / А. Вовна, А. Зори, М. Хламов. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 244 с. – Режим доступа: <https://www.lap-publishing.com/catalog/>.

14. ВАТ «ЛЕД Микросенсор НТ» [Электронный ресурс]: Специф. СД 2700 – 5000 нм. – Режим доступа: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led>, вільний. – Загл. з екрану.

15. ВАТ «ЛЕД Микросенсор НТ» [Электронный ресурс]: Специф. ФД 3600 нм. – Режим <http://ru.lmsnt.com/download/photodiodes-3600nm>, вільний. – Загл. з екрану.

16. Схемотехніка електронних систем: підруч. для вищ. навч. закл.: у 3 т. Т. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої; Т. 2 .Цифрова схемотехніка; Т. 3. Мікропроцесори та мікроконтролера / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища школа, 2004.

17. Основи технічної електроніки: підруч. у 2 т. Т. 2. Схемотехніка / В.І. Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі та ін. – К.: Вища шк., 2007. – 512 с.

18. Скаржепа, В.А. Электроника и микросхемотехника: сб. задач / В.А. Скаржепа, В.И. Сенько; [под. общ. ред. А.А. Краснопрошиной]. – К.: Вища школа, 1989. – 232 с.

19. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – 4-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.

20. Хоровиц, П. Искусство схемотехники: моногр. / П. Хоровиц, У. Хилл; [пер. с англ.]. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ, 2009. – 704 с.

21. Щербаков, В.И. Электронные схемы на операционных усилителях: справ. / В.И. Щербаков, Г.И. Гнездов. – К.: Техника, 1983. – 213 с.

22. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. Т.1 / У. Титце, К. Шенк; [пер. с нем.]. – М.: Додэка–XXI, 2008. – 832 с.

23. Опадчий, Ю.Ф. / Аналоговая и цифровая схемотехника (Полный курс): учеб. для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; [под ред. О.П. Глудкина]. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. – 768 с.

24. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисциплін «Аналогова схемотехніка», «Твердотіла електроніка», «Пристрої аналогової електроніки», «Комп'ютерна схемотехніка», «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка» (для студентів денної та заочної форм навчання усіх спеціальностей) / [Укл. О.В. Вовна, А.А. Зорі, І.С. Лактіонов]. – Покровськ (Красноармійськ): ДонНТУ, 2016. – 58 с.

25. Вовна, О.В. Оптиелектронні вимірювальні системи концентрації метану та пилу в рудничній атмосфері шахт: монографія / О.В. Вовна. – Покровськ (Красноармійськ): ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 336 с.

26. ВАТ «Вестприбор» [Електронний ресурс] : Сітка ткани. – Режим доступу: <http://vespribor.com/каталог/сита-лабораторные/сетка-тканая>. – вільний. – Загл. з екрану.

27. Жидецький, В.Ц. Практикум із охорони праці / В.Ц. Жидецький та ін. – Л.: Афіша. – 2000 – 349 с.

Додаток А – Технічне завдання на розробку електронного пристрою вимірювання концентрації метану

А.1 Найменування й область застосування пристрою

А.1.1 Повне найменування пристрою

Електронний пристрій вимірювання концентрації метану для системи аерогазового захисту вугільних шахт, скорочено ЕПВКМ.

А.1.2 Область застосування пристрою

Електронний пристрій призначений для вимірювання концентрації метану в атмосфері вугільних шахт. Пристрій вимірювання низьких концентрацій (4^{об. %}) застосовується для роботи у складі системи аерогазового захисту вугільних шахтах.

А.1.3 Загальна характеристика об'єкту контролю

Електронний пристрій повинен встановлюватися в гірничих виробках у місцях, де «Правилами безпеки у вугільних шахтах» передбачений безперервний автоматичний контроль стаціонарною апаратурою вмісту метану.

А.2 Підстави для проведення проектних робіт

Підставою для проведення проектних робіт є наказ по ДонНТУ №_____ від 00.05.2018 р. про затвердження тем кваліфікаційних робіт бакалаврів.

А.3 Мета та призначення розробки

А.3.1 Мета розробки

Метою розробки є підвищення швидкодії вимірювального контролю концентрації метану в атмосфері вугільних шахт зі збереження регламентованих показників точності.

А.3.2 Призначення розробки

Електронний пристрій призначений для контролю концентрацію метану в атмосфері вугільних шахт.

А.4 Джерела розробки

Технічна документація та звіт з переддипломної практики.

А.5 Технічні вимоги

А.5.1 Склад пристрою та вимоги до його складових частин

А.5.1.1 Найменування, кількість і призначення блоків пристрою

Електронний пристрій має у своєму складі такі основні функціональні блоки: СВД – світловипромінюючий діод, ДС – джерело струму, що керується напругою; ДЖ – джерело живлення; ДОН – джерело опорної напруги; К – ключ; СК від МПС – сигнал керування від мікропроцесорної системи; ФД – фотодіод; ФП – фотопідсилювач; НП – нормуючий перетворювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; МПС – мікропроцесорна система.

До джерела струму (ДС), яке 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.

Інформація у вигляді зміни потоку ІЧ-випромінювання, яка еквівалента зміни концентрації метану у вимірюваному об'ємі подається на фотодіод (ФД), який працює в фотогальванічному режимі, і підключений до фотопідсилювача (ФП). Вихідний електричний сигнал ФП пропорційний вимірюваній концентрації метану подається до нормуючого перетворювача (НП), де сигнали щодо зміни концентрації метану приводиться до вхідного рівня аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює її в цифровий код і передає на мікропроцесорну систему (МПС).

А.5.1.2 Конструктивні вимоги

Корпусу, у верхньому відсіку якого розташовується електронний блок для обробки інформації. Відсік закритий металевою задньою кришкою, яка опломбована етикетками, які саморуйнуються. У нижній частині корпусу під кришкою клемного відсіку розташовані клеми для підключення датчика. У стані поставки отвори для вводу кабелю загерметизовані заглушками, які під час монтажу замінюють затискачами кабельними.

А.5.1.3 Вимоги до ваги

Вага блоків вимірювального пристрою не повинна перевищувати 2 кг.

А.5.2 Показники призначення

Електронний пристрій повинен задовольняти таким вимогам:

– діапазон вимірювань об'ємної концентрації метану, об.% від 0 до 4;

- основна абсолютна похибка в інтервалі від 0 до 2,5 ^{об.}% ±0,2;
- відносна вологість повітря, % до 100;
- повний час встановлення показів не більше, с 0,8;
- час розігрівання пристрою не більше, хв 10;
- струм споживання з напругою 12 В, мА не більше 100;
- пусковий струм з напругою 12 В, мА не більше 150.

А.5.3 Вимоги до надійності

- Середній наробіток на відмову, годин не менш 25 000;
- Середній час відновлення, годин не більш 1,0;
- Імовірність безвідмовної роботи не менш 0,95.

А.5.4 Вимоги до технологічності, рівня уніфікації та стандартизації

Електронний пристрій повинен відповідати вимогам до технологічного рівня стандартизації та уніфікації.

А.5.5 Умови експлуатації

Електронна пристрій повинен бути розрахованим на роботу під час таких кліматичних умовах:

- температура навколишнього повітря, °С від +5 до + 35;
- атмосферний тиск, кПа від 80 до 120;
- відносна вологість навколишнього повітря (при $t=35$ °С), % 100;
- запиленість атмосфери, мг/м³ не більше 1000;
- швидкість руху газоповітряного потоку, м/с до 8.

А.5.6 Вимоги безпеки, охорони праці, здоров'я і навколишнього середовища

Заходи щодо охорони праці потрібно розробити відповідно до НПАОП, ДСТУ, ССБТ, СНіПами, правилами по ПУЕ, ПТБ та іншими спеціальними документами і підтвердити розрахунками або обґрунтуванням із посиланням на відповідний документ.

А.6 Етапи розробки

Бакалаврська робота відповідає стадії розробки «Технічне проектування» і повинен мати такі документи: пояснювальна записка; схема електрична структурна; схема електрична принципова; демонстраційні листи.

ДОДАТОК Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених», МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений

підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Б.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{Б.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{Б.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (\text{Б.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{сп} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3х2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що

надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Б.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$