

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»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2020 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи
визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт»

Виконала: студентка 2 курсу, групи МІТЗм-18

(шифр групи)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Авер'янова Ганна Ігорівна

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник професор кафедри ЕТ, д.т.н., проф.

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

А.А. Зорі

(підпис)

Рецензент _____

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

(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 – 2020 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

_____магістра_____

Тема: «Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи
визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт»

Спецчастина: _____

Виконавець, студентка

гр. МІТзм – 18

_____Авер'янова Г.І.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

_____проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

_____проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

_____проф. Зорі А.А.

(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 – 2020

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

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

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

« » 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Авер'янова Ганна Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка та дослідження інформаційно-вимірвальної системи визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт
керівник проекту (роботи) Зорі Анатолій Анатолійович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 04.02.2020 року № 67

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 технічних характеристик об'єкту; математична модель вимірвального каналу; обґрунтування та розробка структури інформаційно-вимірвальної системи; розробка структурної та принципової схем мікропроцесорного блоку

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	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
2	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
3	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
4	к.т.н., доц., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	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 характеристик і параметрів вимірювального контролю запилення атмосфери вугільної шахти		
2	Аналіз методів і засобів вимірювального контролю концентрації пилу		
3	Обґрунтування методів і засобів компенсацій впливу дестабілізуючих факторів на результат вимірювання концентрації пилу		
4	Розробка структури інформаційно-вимірювальної системи визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент _____
(підпис)

Авер'янова Г.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Зорі А.А.
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

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

АНОТАЦІЯ

Авер'янова, Г.І. Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2020.

Пояснювальна записка: 78 стор., 21 рис., 1 табл., 30 посилань.

Розроблений метод апаратної компенсації дрейфу вихідного сигналу вимірювача від зміни температури, який використовує додатковий закритий оптичний канал.

На базі аналізу вимог, що поставлено до вимірювача концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт, визначені його базові функції. Ці функції засобів вимірювача концентрації пилу, а також урахування всіх зв'язків між ними дозволило виконати об'єднання їх до системи. Розроблена система має статус підсистеми телекомунікаційного комплексу аерогазового захисту вугільної шахти. Здійснено структурно-алгоритмічний синтез вимірювача концентрації вугільного пилу. Виконано опис структурних блоків його апаратних засобів, розроблені та реалізовані алгоритми й підпрограми функціонування.

Для збільшення ступеня захисту оптичних елементів від запилення пропонується разом з автоматичною корекцією застосовувати пилозахисні бленди, які мають конусні кільця.

Ключові слова: вимірювання, метрологічні характеристики, концентрація, вугільний пил, дисперсність, поріг вибуховості.

ABSTRACT

Averianova, H.I. Development and research of the information-measuring system for determining of the explosive atmosphere boundaries of coal mine / Graduation qualification work for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 152 'Metrology and information-measuring technique'. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2020.

Explanatory note: 78 p., 21 fig., 1 table, 30 references.

A method of hardware compensation for drift of the output signal of the meter from temperature change is developed, which uses an additional closed optical channel.

On the basis of the analysis of the requirements that are put to the coal dust meter in the atmosphere of mines, its basic functions are determined. These functions of the dust concentration meter, as well as all the connections between them, made it possible to integrate them into the system. The developed system has the status of a subsystem of the telecommunication complex of aero gas protection of a coal mine. Structural-algorithmic synthesis of the coal dust concentration meter was performed. The description of the structural blocks of its hardware is completed, algorithms and subroutines of functioning are developed and implemented.

To increase the degree of protection of the optical element against dust, it is proposed, together with the automatic correction, to use dust-proof blinds having conical rings.

Key words: measurement, metrological characteristics, concentration, coal dust, dispersion, explosion threshold.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЗАПИЛЕННЯ АТМОСФЕРИ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ.....	12
1.1 Аналіз параметрів пилегазових сумішей у вугільних шахт.....	13
1.2 Діапазони виникнення вибуху суміші метану та повітря.....	15
1.3 Діапазони виникнення вибуху в атмосфері з вугільним пилом.....	17
1.4 Аналіз виникнення вибуху атмосфери вугільних шахт з пилом.....	20
1.5 Висновки.....	21
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ.....	22
2.1 Аналіз методів вимірювального контролю концентрації пилу в атмосфері шах.....	22
2.2 Аналіз характеристик і параметрів засобів вимірювального контролю концентрації пилу.....	25
2.3 Постановка вимог ІВС концентрації пилу для вугільних шахт.....	28
2.4 Висновки.....	31
3 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЙ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ.....	32
3.1 Компенсація дисперсного складу на результат вимірювання концентрації пилу.....	32
3.2 Компенсація зміни температури на показники точності вимірювання концентрації пилу.....	37
3.3 Врахування запилення компонентів вимірювача концентрації пилу..	45
3.4 Висновки.....	47

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ВИБУХОВОСТІ АТМОСФЕРИ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ.....	48
4.1 Розробка структурної схеми інформаційно-вимірювальної системи концентрації пилу.....	48
4.2 Розробка алгоритмічного забезпечення ІВС концентрації пилу.....	58
4.3 Висновки.....	66
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Під час інтенсифікації видобутку вугілля в гірничих виробленнях різко збільшується утворення пилу та газоносність, що підвищенню небезпеку виникнення вибухонебезпечних ситуацій. Переснащення шахт новою системою аерогазового захисту – УТАС не дає достатньої можливості забезпечити безпеку умов праці робітників. У теперішній час концентрація вугільного пилу контролюється в шахті аспіраційними пробовідбірниками, які не в змозі виконувати безперервний контроль у автоматичному режимі. Це обмежує та звужує функції достовірного контролю системи аерогазового захисту в шахті під час виконання гірничих робіт. Крім того, мала кількість оперативних даних щодо зміни концентрації вугільного пилу не дозволяє визначити імовірнісні характеристики вибуховості пилу з метаном під час зміни швидкості повітряного потоку та його вологості. Зазначене збільшує ризик виникнення вибухонебезпечної ситуації у умовах вугільних шахт. Тому розробка способів і технічних засобів для підвищення швидкодії й точності вимірювачів концентрації пилу завдяки контролю його дисперсності вугільного пилі, а також зміни зовнішніх дестабілізуючих факторів атмосфери шахт, визначають актуальність роботи.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є вдосконалення інформаційно-вимірювальної системи концентрації вугільного пилу завдяки підвищенню його швидкодії й точності за рахунок використання оцінки дисперсного складу пилу та компенсацією зміни дестабілізуючих факторів атмосфери шахт.

Для досягнення зазначеної мети в дослідженні представлені **такі задачі:**

- виконати аналіз характеристик і параметрів вимірювального контролю запилення атмосфери вугільної шахти;
- проаналізувати методи та засоби вимірювального контролю концентрації пилу;
- обґрунтувати методи та засоби компенсацій впливу дестабілізуючих

факторів на результат вимірювання концентрації пилу;

– розробити структуру інформаційно-вимірювальної системи визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт.

Об'єкт дослідження: процеси, що протікають у вимірювальних каналах системи концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт.

Предмет дослідження: методи та засоби підвищення ймовірності вірогідності визначення меж вибуховості газової суміші з пилом в атмосфері вугільних шахт

Методи дослідження базуються на положеннях теорії вірогідності та математичної статистики, теорії інформаційно-вимірювальних систем та систем, теорії випадкових процесів, теорії планування наукового експерименту, комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблений метод апаратної компенсації дрейфу вихідного сигналу вимірювача від зміни температури, який використовує додатковий закритий оптичний канал.

Практичне значення одержаних результатів.

1. На базі аналізу вимог, що поставлено до вимірювача концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт, визначені його базові функції. Ці функції засобів вимірювача концентрації пилу, а також урахування всіх зв'язків між ними дозволило виконати об'єднання їх до системи. Розроблена система має статус підсистеми телекомунікаційного комплексу аерогазового захисту вугільної шахти. Здійснено структурно-алгоритмічний синтез вимірювача концентрації вугільного пилу. Виконано опис структурних блоків його апаратних засобів, розроблені та реалізовані алгоритми й підпрограми функціонування.

2. Для збільшення ступеня захисту оптичних елементів від запилення пропонується разом з автоматичною корекцією застосовувати пилозахисні бленди, які мають конусні кільця.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати кваліфікаційної роботи магістра одержані автором самостійно. Автором особисто: виконано аналіз характеристик і параметрів вимірювального контролю запилення атмосфери вугільної шахти; проаналізовано методи та засоби вимірювального контролю концентрації пилу; обґрунтовано методи та засоби компенсацій впливу дестабілізуючих факторів на результат вимірювання концентрації пилу; розроблено структуру інформаційно-вимірювальної системи визначення меж вибуховості атмосфери вугільних шахт.

Апробація результатів роботи. Основні розділи роботи пройшли апробацію на наукових семінарах кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (м. Покровськ, 2018 – 2020 рр.).

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної роботи магістра визначена загальною схемою наукового дослідження, метою досліджень та шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи містить 78 сторінки машинописного тексту, зокрема 68 сторінок основного тексту, 21 рисунок, 1 таблиця та список використаних джерел із 30 найменувань.

1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК І ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЗАПИЛЕННЯ АТМОСФЕРИ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Під час збільшення обсягів видобутку вугілля зростає концентрація пилу, який має тонкий дисперсний склад. Наявність великої кількості пилу в гірничих виробках збільшує небезпеку ведення робіт у вугільних шахтах. Якщо не оперативно вживаються заходи, які спрямовано на знепилювання, а також у сукупності з малим значенням достовірності отриманих результатів вимірювального контролю концентрації пилу, є збільшення ймовірності аварійних ситуацій на шахтах, а саме вибухів і спалахів суміші пилу та газу [1 – 3]. Тому необхідно виконувати удосконалення як технічних, так і організаційних заходів, які дозволяють зменшити вірогідність виникнення вибухів суміші пилу та газу в шахтах. Ці заходи необхідні для стабілізування показника безпеки т безаварійності роботи гірників.

У теперішній час вимірювальний контроль концентрації пилу в шахтах виконується, але з великим інтервалом часу, а в більшості випадках він практично не здійснюється. Вимірювачі концентрації пилу, які використовуються в теперішній час на шахтах, не можуть забезпечити вимоги за точністю, швидкістю й надійністю. На сьогодні більшість шахт України оснащено сучасною системою аерогазового захисту УТАС. УТАС – уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю і автоматизованого керування гірничими машинами і технологічними комплексами [4]. До складу УТАС входить більше ніж 10 підсистем. Ці підсистеми виконують контроль у гірничих виробках метану (CH_4), водню (H_2), оксиду вуглецю (CO), кисню (O_2), сірководню (H_2S), а також виконують вимірювання температуру навколишнього середовища, швидкості потоку повітря, вологість повітря, концентрацію важких і легких вуглеводнів. УТАС немає в своєму складі пристроїв для вимірювального контролю концентрації вугільного пилу, який присутній в атмосфері шахт. Наявність цього пилу

підвищує ймовірність виникнення вибухонебезпечної ситуації в шахті. Промисловістю України у теперішній час не виробляються оперативні вимірювачі концентрації пилу. Ті вимірювачі, які виготовляються за кордоном не пристосовані до умов вугільних шахт.

Основним недоліком існуючих аспіраційних вимірювачів є те, що вони не можуть виконувати оперативний вимірювальний контроль як концентрації, так і дисперсного складу вугільного пилу. У теперішній час відсутній узагальнений спосіб визначення ймовірності виникнення вибухонебезпечної ситуації під час наявності в суміші газу пилу, а також зміни вологості атмосфери та швидкості повітря. Для усунення цього недоліку необхідно виконувати в режимі реального часу вимірювальний контроль концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт.

1.1 Аналіз параметрів пилегазових сумішей у вугільних шахт

Усі випадки виникнення пожежі в умовах вугільних шахт:

- повільні процесів: нагрівання вугілля, яке виникає в тріщинах, що утворюються від гірничого тиску; окислення, яке має низьку температуру;
- швидкі процеси, які обумовлено детонацією або вибуховістю метану та вугільного пилу, спричиняються екзотермічними реакціями під час окислення органічних речовин, яке здійснюється киснем в повітрі [1, 5 – 9].

Для виникнення спалаху або вибуху метану необхідно наявність горючої суміші. Ця суміш виникає під час змішування в певних пропорціях початкових компонент. Тому, якщо величина критичних умов, які виникають під час вибуху суміші повітря, метану та пилу у вугільних шахтах, має суттєву роль для забезпечення пожежо та і вибухобезпеки в шахтах [8].

На базі аналізу та класифікації існуючих теорій, які дозволяють оцінити потенційну небезпеку, яка виникає під час вибуху вугільного пилу та метану у

вугільних шахтах в МакНДІ запропоновано та обґрунтовано модель. За допомогою цієї моделі формуються у шахтах [8] вибухи повітряної суміші з пилом (див. рис. 1.1).

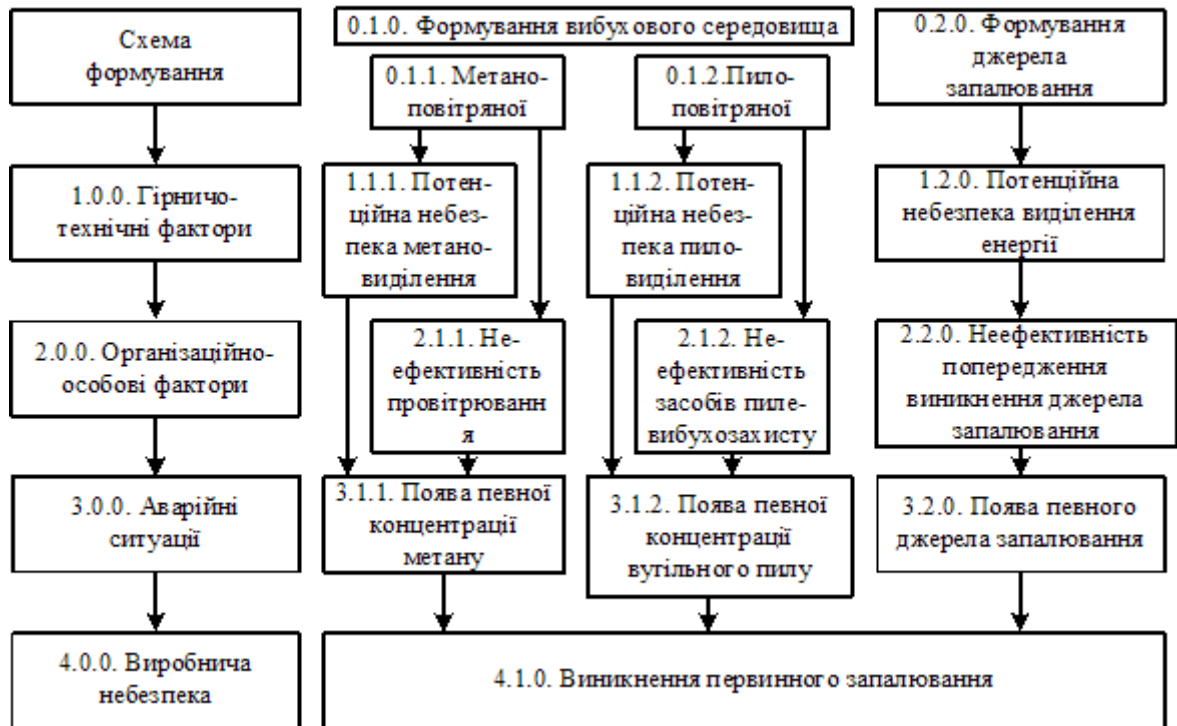


Рисунок 1.1 – Узагальнена модель для формування вибухів вугільного пилу та метану в шахті

З аналізу моделі, яку наведено на рис. 1.1, витікає, формування вибуху може бути під час дії повітряних сумішей з метаном, пилом, а також метаном і пилом. Первинне запалювання виникає під час сумісної дії джерела запалювання та вибухового середовища. Виникнення аварійної ситуації може бути під час сумісної дії шкідливих геологічних або гірничотехнічних (1.0.0), а також організаційно-особових (2.0.0) факторів. Гірничо-геологічних фактори, що підвищують ризик формування вибуховість середовища: метаносність гірничих порід і вугільних пластів, а також формування вугільного пилу з його властивостями до вибуху. Гірничотехнічні фактори, що підвищують ризик формування джерел запалювання, є всі види запалювання вибухового середовища гідравлічною, електричною та пневмонічної енергіями енергії.

Також до гірничотехнічних факторів відносять вторинні похідні від цих енергій, а саме поступальної або обертальної ходи. Організаційно-особові фактори залежать від дій працівників та керівництва. Ці фактори є ланкою, яка повністю керується під час формування небезпеки.

1.2 Діапазони виникнення вибуху суміші метану та повітря

Метан (CH_4) – є газ, який має найбільше поширення серед горючих газів. Цей газ несе велику небезпеку для здоров'я та життя працівників у шахті. Метан не має запаху, кольору, він не є отруйним. Метан легше ніж повітря, тому під час його виділення кривлі виробок, а також якщо повітряний потік має малу турбулентність, то розрідження та розсіювання цього газу має місце під час дифузії у сповільненому темпі. Це може призвести до утворення шарів метану, які мають його вибухові концентрації [10, 11]. Суміш метану в діапазоні концентрації від 5 до 15 % та повітря, якщо є джерела запалювання вибухає. Під час вмісту більше ніж 15 % повітря не горить і не вибухає. Спалах метану відбувається між нижньою й верхньою концентраційними межами вибуховості [1, 12].

Значення нижньої (НСМВ) та верхньої (ВСМВ) стехіометричних меж вибуховості метану складають $НСМВ(CH_4) = 9,5 \%$ та $ВСМВ(CH_4) = 12,28 \%$. Стехіометричні межі, це межі у яких величини окислювача така, яка необхідна для повного окислення пального. У діапазоні від 9,5 до 12,28 % концентрації метану мають місце всі стехіометричні значення, під час дії який відбувається вибух у повітрі концентрації метану. У цих межах суміш метану та повітря має максимальну силу вибуху. Під час збільшення концентрації метану в діапазоні від 5 до 15 % відбувається підвищення сили вибуху до досягнення максимуму 9,5 %. Потім зі збільшенням концентрації метану в повітрі сила вибуху зменшується [1, 12].

Діаграма Говарда, яку наведено на рис. 1.2, визначає вибуховість суміші повітря з метаном під час дії атмосферного тиску. Ця діаграма показує які з сумішей повітря з метаном є небезпечними для вибуху та під час наявності якої концентрації кисню [13]. На рис. 1.2 представлені такі позначення: 1 – невибухова суміш; 2 – вибухова суміш, 3 – суміші, які можуть стати вибуховими під час додавання свіжого повітря, 4 – суміш кисню з метаном, яку неможливо отримати в атмосфері.

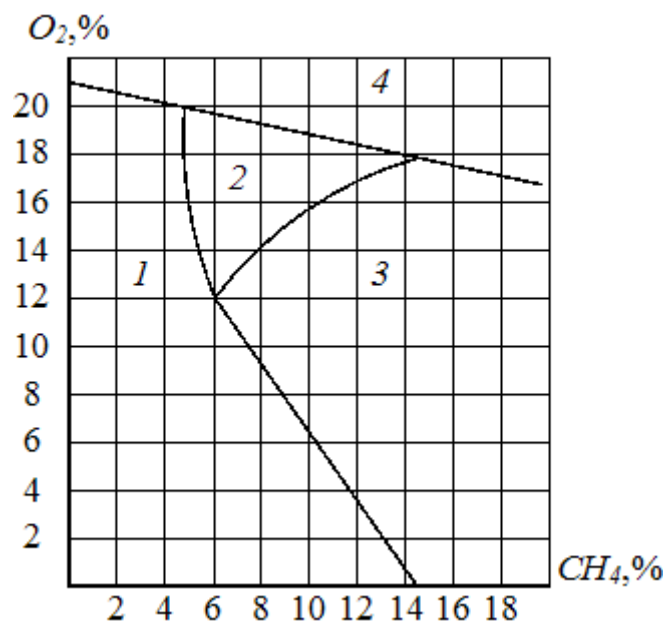


Рисунок 1.2 – Діаграма Говарда

Суттєвий вплив має значення тиску на концентраційні межі газової та повітряної сумішей з пилом. Якщо значення тиску менший ніж в атмосферний, то зміною тиску на величину межі вибуховості у виробці вугільних шахт нехтують [12, 13]. Зміна температури має досить незначний вплив на межі вибуховості. Під час розповсюдження полум'я суттєвий вплив має не початкова температура суміші газів, а величина температури, яка збільшується під час процесу горіння.

У атмосфері вугільних шахт має місце важкі вуглеводи метанового ряду та водень, значення концентрації яких є невеликими [12, 14]. Під час надходження до атмосферного повітря ці гази сумісно з метаном збільшують

область вибуховості, а саме зменшують НМВ. Межі вибуховості для комплексу сумішей горючих газів визначаються методом Ле-Шательє [15]:

$$P_H = \frac{100}{\frac{C_1}{P_1} + \frac{C_2}{P_2} + \dots + \frac{C_k}{P_k}}, \quad (1.1)$$

де $C_1, C_2, \dots, C_k$ – концентрація кожного з горючих газових компонентів у суміші, %; сумарне значення концентрацій ($C_1 + C_2 + \dots + C_k$) завжди дорівнює 100 %; $P_1, P_2, \dots, P_k$ – величина нижньої межі вибуховості кожного з компонентів газової суміші, %.

У відповідності з вимогами ДСТУ [16] діапазон значень об'ємної концентрації метану повинен не менше 2,5 об.%. У деяких випадках діапазон може бути розширений, він регламентується в технічних або стандартних умовах на конкретний тип метанометру.

1.3 Діапазони виникнення вибуху в атмосфері з вугільним пилом

Під час аналізу робіт [17 – 19] виявлено необхідні узагальнення з класифікації систем, які мають аеродисперсний склад. Пил є дисперсною системою з газоподібним середовищем, дисперсна фаза якого є дрібними твердими частинками. Ці частки здатні якийсь тривалий час знаходитися у зваженому стані.

Дисперсність – це розмір частинок, одна з важливіших характеристик вугільного пилу, яка визначає його їх фізико-хімічні й фізичні властивості. За допомогою ступеня дисперсності має місце наступна класифікація аерозолів [20]:

– наночастинки або ультрадисперсні аерозолі, які мають розмір частинок у діапазоні від 0,001 до 0,01 мкм;

- високодисперсні аерозолі, розмір частинок яких змінюється від 0,01 до 0,1 мкм;
- середньодисперсні аерозолі або тонкодисперсні мають розмір частинок в діапазоні від 0,1 до 10 мкм;
- грубодисперсні аерозолі, розмір частинок яких становить від 10 до 100 мкм.

Монодисперсні системи у аерозолів, які виникають під час протікання технологічних процесів, практично не зустрічається. Зазвичай, вугільний пил є полідисперсною системою, що має сукупністю частинок з розміром від 10^{-2} мкм (субмікроскопічні) до від 10^1 до 10^2 мкм і більш (макроскопічні).

Рудничний пил – це сукупність частинок корисної копалини або (та) порід, які утворюються під час проведення гірничих робіт та ін. процесах на виробництві. Пил знаходиться в зваженому стані або він має місце його осідання на гірничих виробках, при цьому пил здатний, якщо є певні умови, переходити у зважений стан [19]. Характерні розміри частинок в різних аеродисперсних системах наведено на рис. 1.3 [21].

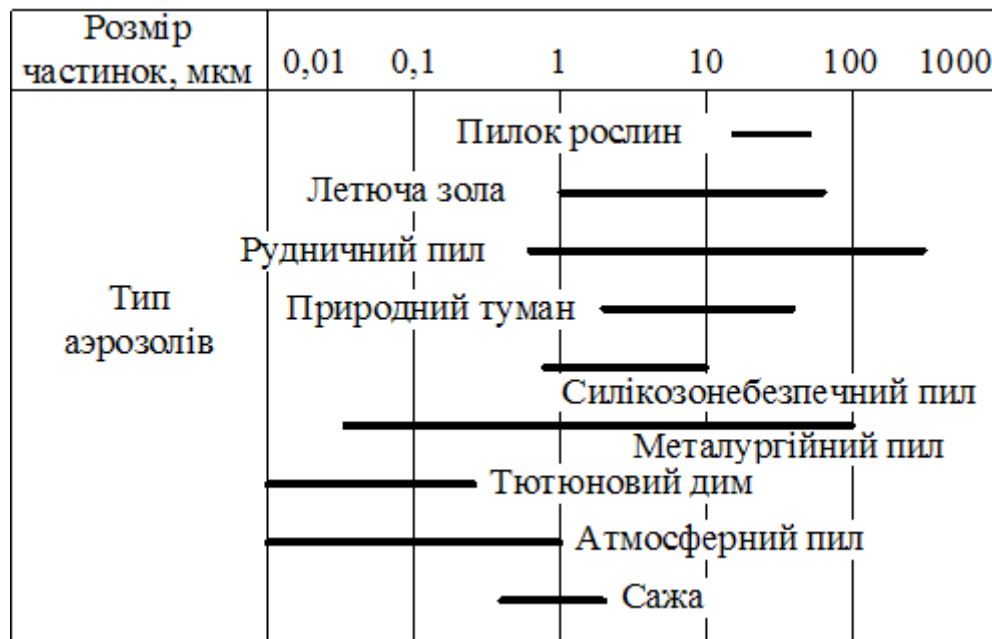


Рисунок 1.3 – Характерні розміри частинок в різних аеродисперсних системах

З аналізу рис. 1.3 можна зробити висновок, що до грубодисперсних або середньодисперсних систем відносять практично всі природні системи. Усі аерозолі, які отримані під час технологічних процесів на виробництві мають розміри частинок, які змінюються в широких межах. Отже, під час практичного використання знепилювання розглядається пил, який має розмір частинок від 1 до 150 мкм [1, 18].

Для здійснення кількісної оцінки дисперсності пилу застосовується наступні геометричні параметри: найбільший $D_{\max}$, найменший $D_{\min}$ та середній розмір частинок, або питома поверхня. Для повної характеристики дисперсного складу пилу використовується масовий вміст частинок, які мають певні розміри. Під час аналізу експериментальних даних МакНДІ [18], які набрані на 80 шахтах під час розробки 140 шахтопластів, та виконано усереднення за 4170 пробам виявлено, що максимальний коефіцієнт зміни дисперсності пилу (22 %) має місце у підготовчих виробках, де частинки мають крупніші розміри. Мінімальний коефіцієнт варіації має місце в вентиляційних штреках (від 12 до 13 %). Зазвичай, дисперсний склад пилу визначається функціями, які мають розподіл маси часток від діаметру $f(D)$ [22, 23]:

$$f(D) = \frac{a}{D} \cdot \exp\left(-b \cdot \ln(\beta \cdot D)^2\right), \quad (1.2)$$

де a – нормуючий множник, b – параметри функції розподілу.

Зазвичай рудничний пил має порідні та вугільні частинки. Якісний склад порідного пилу визначається складом порід і прошарків, а вугільного пилу – складом вугільного пласта [18, 24]. Пил є горючим середовищем, а в суміші з повітрям він є вибухонебезпечний, так як має певні фізичні та хімічні властивості. Під час експериментальних досліджень в шахтах, які виконано в МакНДІ, встановлено, що НМВ вугільного пилу змінюється і інтервалі від 5 до 200 г/м³ [19, 25]. Це значення залежить від виходу летючих компонент, речовинного складу та вмісту вологи в пилу.

Функціональна залежність НМВ вугільного пилу, який зважений в повітрі, має емпіричну залежність від зміни виходу летючих речовин від 15 до 30 %, яку отримано під час експериментальних досліджень МакНДІ [25]:

$$\delta_{зв\alpha\lambda\kappa}(V_C^{daf}, A^d) = 53,3 \cdot e^{-0,045 \cdot V_C^{daf}} + 1,4 \cdot e^{-0,032 \cdot V_C^{daf}} \cdot A^d, \quad (1.5)$$

де $\delta_{зв\alpha\lambda\kappa}(V_C^{daf}, A^d)$ – НВП вугільного пилу, який зважений в сухому повітрі, г/м³;
 V_C^{daf} – вихід летючих речовин, %; A^d – зольність пилу, %.

1.4 Аналіз виникнення вибуху атмосфери вугільних шахт з пилом

Під час практичного застосування пилового та газового контролю в шахтах постає важливе питання щодо допустимого вмісту вибухонебезпечних газів, а також пилу, який зважений в повітрі з одночасною їх присутністю. Для кількісного визначення цього питання використовується поняття запасу надійності під час контролю вибухонебезпеки в шахті. Запас надійності – це відношення $K = C_{HMB} / C$ величини НМВ компоненту C_{HMB} до значення його концентрації у повітрі C [1, 26]. Розрахунок значення коефіцієнта запасу виконується, якщо НМВ метану становить 5 об. %.

Математична модель [26] встановлює концентраційну НМВ вугільного пилу, який зважений в повітрі атмосфери шахти (C_{nHMB}) (1.5), від виходу летючих компонент V_C^{daf} , значення зольності A^d , величини вологості повітря $\gamma_{вл}$ та C_{CH_4} , якщо дисперсність частинок складає $D = (1 \div 10)$ мкм:

$$\begin{aligned} C_{nHMB}(V_C^{daf}, A^d, \gamma_{вл}, C_{CH_4}) = \\ = \left(\delta_{зв\alpha\lambda\kappa}(V_C^{daf}, A^d) + \zeta \cdot \gamma_{вл}^\beta \right) \cdot \left(1 - \left(\frac{C_{CH_4}}{C_{CH_4HMB} + \vartheta \cdot \gamma_{вл}^\alpha} \right)^m \right)^{1/m}, \end{aligned} \quad (1.6)$$

де $m = 0,66512 - 0,12818 \cdot \left(C_{CH_4} / \left(C_{CH_4HMB} + \vartheta \cdot \gamma_{el}^\alpha \right) \right)$ – ступень, емпірична величина при $\alpha = 2,34$; ς – коефіцієнт збільшення НМВ (він залежить від властивостей вугілля та змінюється в межах від 0,357 до 0,755); $\beta = 1,65$ – ступень, величина якого визначається експериментально; $C_{CH_4HMB} = 4$ об. % – НМВ метану, %; ϑ – коефіцієнт узгодження під час підвищення НМВ метану, величина якого дорівнює $\vartheta = 0,009$, %/(г/м³).

Під час аналізу залежності (1.6) встановлено, що вологість атмосфери шахт підвищує величину порогу вибуховості повітряної суміші з пилом. Якщо присутній метан у виробці, то НМВ вугільного пилу пропорційно зменшується від зміни його об'ємної концентрації в суміші. Так, під час низької концентрації метану в виробці НМВ пилу, який зважений в повітрі, становить більше 40 г/м³, а якщо має місце висока концентрація метану $C_{CH_4} = 2$ об.%, низька зольність A^d менше 10 %, вихід летючих V_C^{daf} більше 41 %, то НМВ пилу становить 3 г/м³.

1.5 Висновки

На основі виконаного аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей компонентів, що є в наявності атмосфери вугільних шахт, встановлені їх концентраційні нижні межі вибуховості. Так, для метану діапазон концентрації складає від 4 до 6 об.%, а для вугільного пилу – від 3 до 45 г/м³. Одержала подальший розвиток модель, яка базується на емпіричних даних МакНДІ. Використання цієї моделі дозволив встановити вибухонебезпечні концентраційні межі складових газової суміші з пилом: вугільний пилу, який зважений в повітрі (від 0 до 3 г/м³) в залежності виходу летючих (40 ÷ 47 %), зольності (до 15 %), а також вологості повітря (від 0 до 10 г/м³), під час наявності концентрації метану (0 ÷ 4 об.%) та дисперсності частинок вугільного пилу (від 1 до 10 мкм).

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ

2.1 Аналіз методів вимірювального контролю концентрації пилу в атмосфері шахт

Вугільний пил в атмосфері шахт є системою, яка має достатньо велику кількість параметрів, тому вимірювання цієї концентрації є достатньо складною метрологічною задачею. У теперішній час існують методи вимірювання концентрації пилу (див. рис. 2.1), які використовуються для кількісного вимірювального контролю. Ці методи, зазвичай, застосовуються в невеликому діапазоні вимірювальних концентрацій пилу. Метрологічні показники вимірювачів концентрації пилу залежать від фізичних і фізико-хімічних властивостей частинок пилу, а також від умов експлуатації цього вимірювача. Методи класифікуються на дві групи: які засновано на попередньому осадженні пилу та без попереднього його осадження.

Методи першої групи мають основну перевагу в тому, що вони можуть здійснювати вимірювальний контроль масової концентрації пилу. До їх істотних недоліків слід віднести те, що вони мають високу трудомісткість, циклічний характер вимірювального контролю. Також до недоліків відносяться низька чутливість методів, що обумовлює наявність системи пробовідбору (до години та більше) [27]. Зазначені методи не можуть бути покладено в основу розробки автоматичних вимірювачів концентрації пилу, який зважений в атмосфері шахт. Ці методи мають низьку швидкодію та точність, а також для їх реалізації необхідно задіяти людину-оператора.

До переваг другої групи методів слід віднести: безперервність вимірювання, здійснення вимірювання безпосередньо в повітряному середовищі зі зваженим пилом, вимірювання здійснюються практично безінерційно та методи мають високу чутливість. Усе це дозволяє одержувати

інформації щодо зміни миттєвих значень концентрації пилу, а також прогнозувати виділення пилу на базі закономірності під час його зміни. До недоліків другої групи методів відносять те, що результати вимірювання залежать від зміни дестабілізуючих факторів таких як дисперсний склад, температура, вологість та ін.

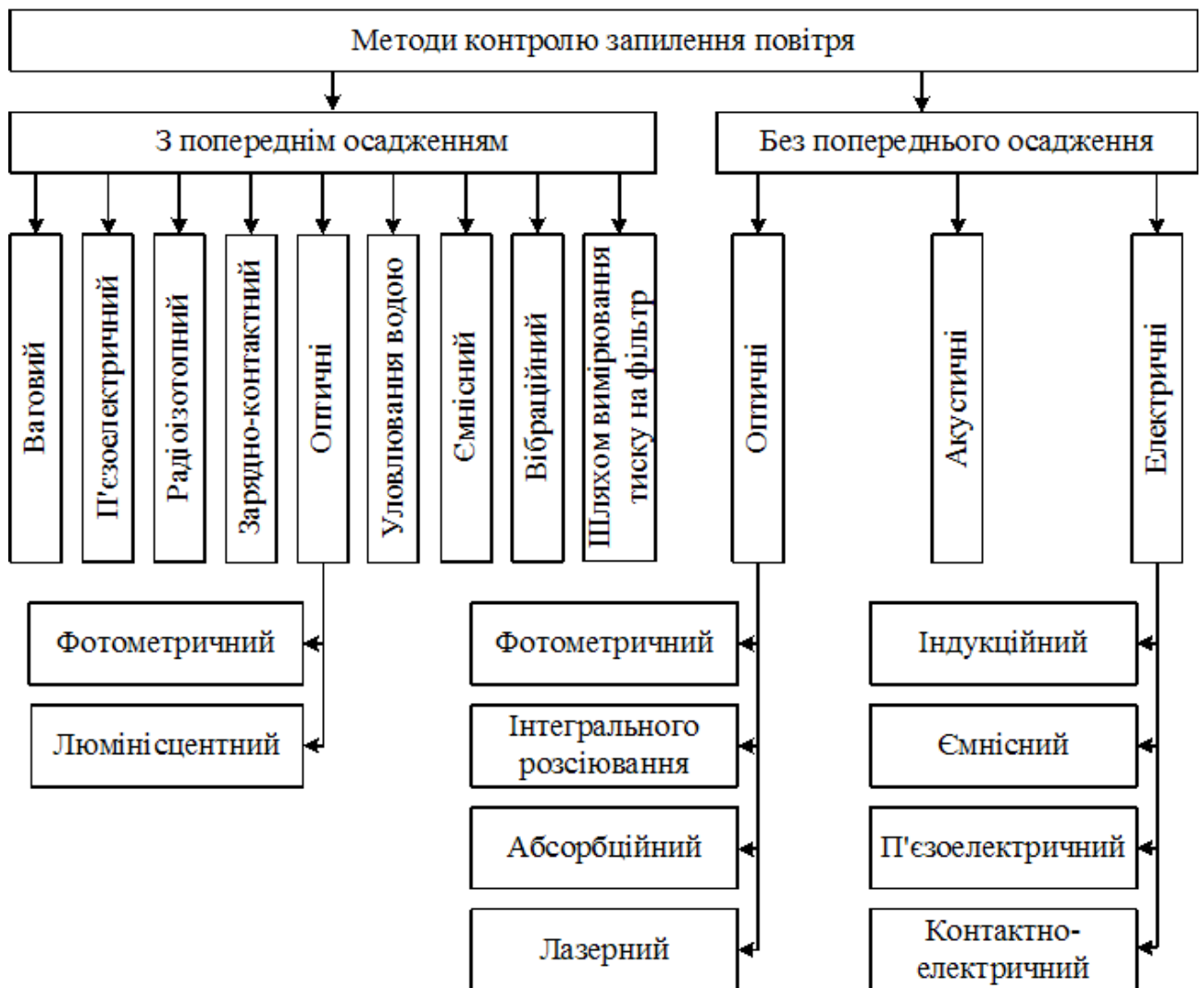


Рисунок 2.1 – Класифікація методів вимірювального контролю концентрації пилу в повітрі

Під час вибору методу, що буде основою розробки вимірювача концентрації вугільного пилу для умов атмосфери шахт проаналізовані відомі методи, які не передбачають попереднього осадження пилу. Для реалізації вимірювального контролю концентрації пилу в діапазоні від 0 до 3 г/м³, якщо

дисперсність частинок складає від 1 до 10 мкм, зазвичай використовується п'єзоелектричний або оптичний методи.

П'єзоелектричний метод може в режимі реального часу виконувати вимірювання концентрації пилу. До його недоліків слід віднести: нелінійність характеристики від 1 г/м^3 , апаратна складність, вплив тиску, вологості, температури, а також швидкості повітря на показники точності вимірювача.

Найперспективнішими є оптичні методи вимірювального контролю концентрації пилових та газових компонент. Вони мають наступні переваги:

- високе значення роздільної здатності під час вимірювання концентрацій ($0,01 \text{ г/м}^3$);
- величина швидкодії десятки мілісекунд;
- вимірювання здійснюються в середовищі, яке має в своєму складі зважений пилу, тому немає необхідності вводити систему пробопідготовки та збурень;
- дозволяє визначати дисперсний склад (від 0,1 до 150 мкм) миттєвого значення полідисперсного пилу;
- можливість здійснення автоматичних вимірювань без участі оператора.

Під час аналізу методів вимірювання концентрації пилу, який зважений в повітрі, виявлено, що найбільш підходить до цієї задачі оптико-абсорбційний метод. Він має мінімальне число дестабілізуючих факторів, зміни яких впливають на результат вимірювання концентрації пилу. При цьому забезпечується величина абсолютної похибки вимірювання концентрації пилу $\pm(10...20) \text{ мг/м}^3$. Цей метод має деякі недоліки, основним з яких є вплив зміни дисперсності часток пилу на результат вимірювання концентрації, також вихідний сигнал вимірювача залежить від зміни температури. Це одним недоліком є осідання пилу на робочих оптичних елементах вимірювача. Перераховані недоліки зумовлюють розробку способів і засобів апаратної та програмної компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу, а також обліку зміни дисперсності пилового аерозолі та врахування й компенсації пилу, що осів на робочих оптичних компонентах вимірювача.

2.2 Аналіз характеристик і параметрів засобів вимірювального контролю концентрації пилу

У відповідності з правилами техніки безпеки у вугільних шахтах [28], оцінка запилення атмосфери виробок здійснюється за максимальною разовою та середньою за зміну концентрацією частинок, що зважені в повітрі. Визначення концентрації здійснюється для кожного технологічного процесу. Вимірювання запиленості повітря виконується в усіх виробках, в яких знаходяться працівники. Визначення запиленості здійснюється в залежності від типів джерел утворення пилу:

- під час виїмки вугілля відбійними молотками або комбайнами на пластах під кутом;
- у вугільних виробках, які підходять до лави, в цих виробках має місце вентиляційний струмінь, що витікає, від лінії забою на (10 – 15) м;
- під час виїмки вугілля стругами та комбайнами на пологих пластах, а також пологих пластах під кутом – від вентиляційного штреку у лаві на (10 – 15) м;
- під час щитової виїмки крутих пластів – на місці, де працює машиніст;
- під час проведення підготовчих виробок – від забою на (20 – 30) м;
- у виробках з конвеєром – від кожного пункту, де здійснюється перевантаження вугілля, за напрямком руху повітря на (10 – 15) м.

У якості основного способу вимірювального контролю у теперішній час використовується відбір проб пилу за допомогою аспіраційних пристроїв. Ці пристрої мають у своєму складі пробовідбірник, який є епізодичної дії. (див. табл. 2.1). Зазначені пристрої допускаються до застосування в умовах шахт. Аспіраційними пристроями здійснюється відбір проб на відстані 1 м від гірника за напрямом руху повітря протягом менше 30 хвилин.

Таблиця 2.1 – Параметри основних типів вимірювачів концентрації вугільного пилу в шахтах

№	Найменування вимірювача концентрації пилу	Діапазон вимір., мг/м ³	Відносна похибка вимір., %	Тривалість вимір., с
1	ЭПП-1 (індукційний вимірювач запилення повітря)	0 – 10; 0 – 100	±15	5 хв.
2	ТДМ-2 (ємнісний вимірювач запилення повітря)	0 – 10; 0 – 100	±12	5 хв.
3	КДМ-1 (п'єзоелектричний пиломір)	0 – 10; 0 – 100	±8	5 хв.
4	ИЗСТ-1 (оптичний переносний вимірювач запилення)	0 – 1500	±20	безперев.
5	ИКП-5 (переносний портативний індукційний вимірювач запилення)	0,1 – 30	±20	10
6	АЭРОКОН (оптичний вимірювач масової концентрації частинок пилу)	0 – 100	±25	більш 60
7	ИКВЧ-ВЗ (переносний оптичний вимірювач концентрації зважених частинок)	0,9 – 3000	±20	10 хв.
8	ИЗША (вимірювач запилення шахтної атмосфери)	10 – 500	±25	10 хв.
9	ПКА-01 (аспіраційний переносний вимірювач запилення шахтної атмосфери)	0 – 1000 0 – 3000	±20	3 хв.
10	KANOMAX 3431 (оптичний вимірювач масової концентрації частинок пилу)	1 – 1000	±10	1 – 10 хв.; безперерв.

До основного недоліки цих пристроїв (див. табл. 2.1), є участь людини-оператора під час вимірювання. Це призводить до зменшення достовірності результатів вимірювання та значних трудових витрат. Закордонні підприємства з видобутку вугілля мають наступні основні принципи вимірювального контролю запилення у вугільних шахтах:

– для вимірювального контролю концентрації вугільного пилу застосовуються лише пристрої, які не потребують наявності людини під час виконання вимірювання;

– для визначення рівня запилення повітря у шахтних виробках і ефекту від заходів щодо зменшення концентрації пилу визначаються на стаціонарних пунктах, що знаходяться на відстані від джерел утворення пилу.

Найбільшого розповсюдження отримали прилади для вимірювання концентрації пилу, що знаходиться в зваженому стані, на основі оптичного методу. Конструкцію чутливого елемента оптичного вимірювача концентрації пилу наведено на рис. 2.2, на якому позначено: 1, 2 – корпус з джерелом випромінювання (ДВ) та фотоприймачем (ФП); 3, 4 – оглядові стекла, що захищають від пилу поверхні ДВ та ФП; l – довжина траси відкритого оптичного каналу (ВОК) вимірювача концентрації пилу C_c , який має дисперсність частино від $D_{\min}$ до $D_{\max}$.

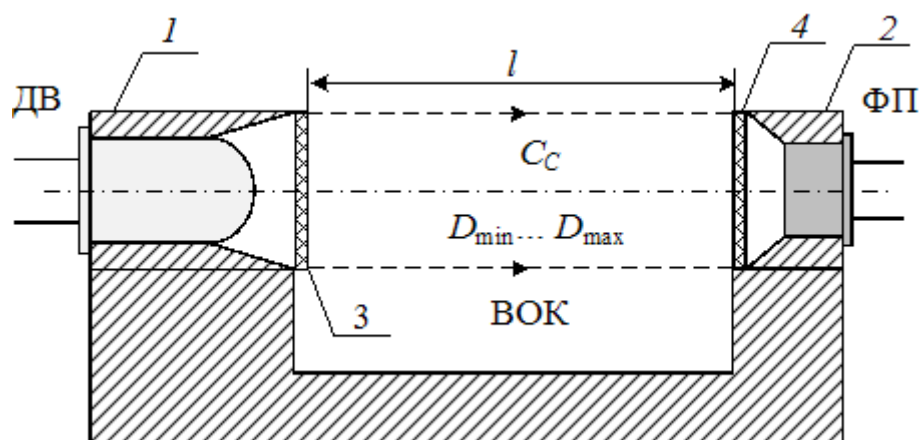


Рисунок 2.2 – Конструкція чутливого елемента оптичного вимірювача концентрації пилу

Головним фактором, який обмежує використання оптичних вимірювачів концентрації вугільного пилу в умовах шахт, є складність його обслуговування. Також в цих збільшується похибка, яка має методичний характер, що обумовлена поступовим запиленням робочих оптичних компонентів вимірювача. Зменшення впливу цього дестабілізуючого фактора потребує розробки додаткових способів в конструкторських рішень.

2.3 Постановка вимог ІВС концентрації пилу для вугільних шахт

Під час оперативного вимірювального контролю запилення атмосфери до вимірювачів висуваються наступні вимоги:

- повна автоматичність та безперервність процесу вимірювання, передача вимірювальних значень, зворотній зв'язок;
- величина відносної похибки не більше $\pm 10 \%$ з максимальним значенням концентрації ($C_{\text{max}} = 3 \text{ г/м}^3$);
- лінійність характеристики перетворення та мале значення інерційності;
- наявність аварійної та попереджувальної сигналізації;
- періодична перевірка нуля в автоматичному режимі;
- мале значення чутливості до зміни неінформативних параметрів і дестабілізуючих факторів, а також можливість пристосування до роботи в умовах промислових підприємств (стійкість до високих температур, вібростійкість, агресивне середовище та вологість та);
- дешевизна, простота конструкції, висока експлуатаційна надійність і портативність;
- прилад та його робочі параметри не повинні вносити перешкод та спотворень до вимірювальних значень концентрації пилу та його дисперсності.

У основу оптичного методу вимірювального контролю концентрації вугільного пилу покладено закон Бугера-Ламберта-Бера, У відповідності з цим законом, інтенсивність випромінювання, яка пройшла крізь газове середовище

зі зваженим пилом, описується наступною формулою:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\varepsilon \cdot C_C \cdot l), \quad (2.1)$$

де I_0 – інтенсивність початкового світлового потоку; C_C – концентрація вугільного пилу, що вимірюється, ε – показник поглинання оптичного потоку, величина якого приходить до одиниці концентрації; l – товщина шару, що аналізується, або довжина оптичної траси.

З формули (2.1) визначено співвідношення для оцінки значення чутливості оптичного методу вимірювального контролю:

$$\Delta I / \Delta C_C = -\varepsilon \cdot l \cdot I_0 \exp(-\varepsilon \cdot C_C \cdot l) = -\varepsilon \cdot l \cdot I. \quad (2.2)$$

З аналізу формули (2.2) можна зробити висновок, що величина чутливості оптичного методу збільшується під час збільшення значення товщини поглинаючого шару (l), коефіцієнта поглинання ε , а також інтенсивність випромінювання I , яка пройшла крізь газове середовище зі зваженим пилом. Величина інтенсивності оптичного потоку з ε і I збільшується, якщо використати потужне джерело світла: потужний світловипромінюючий діод з вузькою діаграмою спрямованості або лазер.

Вибір довжини траси ВОК вимірювача концентрації пилу не регламентується жодним нормативним документом. Для отримання максимального значення величини чутливості під час вимірювання необхідно визначити оптимум значення l . Це забезпечується під час виконується необхідних досліджень завдяки математичному моделюванню вимірювача концентрації пилу. Інтервал зміни довжини траси ВОК у існуючих вимірювача складає від 35 до 150 мм.

У відповідності з вимогам ДСТУ [29] діапазон зміни допустимої похибки вимірювання концентрації пилу в повітрі робочої зони дорівнює гранично-

припустимій концентрації (ГПК) або більше. Це значення становить $\pm 25 \%$ від величини, що вимірюється, якщо довірча вірогідність складає 0,95. Під час вимірювання концентрацій менших ніж ГПК діапазон абсолютної допустимої похибки вимірювань дорівнює $\pm 0,25$ ГПК у мг/м^3 , якщо довірча вірогідності складає 0,95. Сумарне значення похибки вимірювання концентрації пилу не повинно бути більшим ніж $\pm 20 \%$. Величина похибки вимірювання концентрацій пилу в наявних пристроях (див. табл. 2.1) становить від ± 5 до $\pm 30 \%$ в залежності від діапазону вимірювання й дисперсного розкиду частинок пилу.

У відповідності з вимогами ДСТУ [29] щодо методик та засобів вимірювання концентрації пилу необхідно здійснювати вимірювання концентрації, якщо присутні супутні компоненти, величина яких $\leq 0,5$ ГПК у повітрі робочої зони, що складає 10 мг/м^3 . Під час використання працівниками стандартних респіраторів, що можуть забезпечити захист органів дихання людини від вугільного зваженого пилу діапазон концентрацій вимірювання не повинен бути більше ніж 0,5 від (10 – 15) ГПК, це відповідає 100 мг/м^3 . Зазвичай гігієнічними вимогами СНіП і ССБТ під час здійснення робіт в вугільних шахтах ігноруються. Це призводить до випадків перевищення концентрація зваженого вугільного пилу в атмосфері шахт до вибухонебезпечних меж.

У положеннях щодо пилогазовий режим на вуглебагачувальних і вугледобувних підприємствах, що розроблені за участю МакНДІ і СхідНДІ, встановлено діапазони вмісту вугільного пилу в повітрі робочої зони. Ці діапазони становлять 30 % від НМВ вугільного пилу на цьому підприємстві. На базі залежності НМВ для зваженого вугільного пилу (1.6) встановлюється верхня межа діапазону вимірювання концентрації пилу, яка складає 3 г/м^3 під час зміни концентрації метану від 0 до 4 $\text{об.}\%$ та зміни вологості повітря атмосфери від 0 до 10 г/м^3 .

Величина швидкодії для вимірювача концентрації пилу в умовах вугільних шахт є найбільш критична. У цих складних умовах мають місце

швидкопротікаючі процеси, які несуть загрозу здоров'ю та життю гірників. У відповідності зі стандартами та нормативними документами, які визначають характеристики вимірювачів концентрації пилу, вимоги до швидкодії відсутні. Аналіз залежностей НМВ показує, що межа вибуховості визначається як концентрацією метану, так і концентрацією вугільного пилу. Тому для визначення швидкодії вимірювача концентрації вугільного пилу можна взяти за основу вимоги до вимірювача концентрації метану. У відповідності з ДСТУ [16] максимальний час спрацьовування метанометрів стаціонарних, що призначено для використання як засоби газового контролю та відключення гірничого електроустаткування, складає не більше 0,8 с. за об'ємною концентрацією метану. Отже, швидкодія вимірювача концентрації вугільного пилу повинна бути не більш 0,5 с.

2.4 Висновки

Виконаний аналіз характеристик і параметрів наявних існуючі методів вимірювання концентрації вугільного пилу, який зважено в повітрі. Під час аналізу встановлено, що найкращим для автоматизації вимірювального контролю є оптичний метод. Його характеристики і параметри повністю задовольняють сучасним вимогам як за швидкістю, так і за необхідними показниками точності вимірювального контролю. Оптичний метод покладений в основу розробки вимірювача концентрації пилу. Для зниження впливу зміни дестабілізуючих факторів необхідно розробити способи та засоби, що дозволять підвищити метрологічні характеристик оптичного вимірювача концентрації пилу.

Обґрунтовано вимоги до вимірювача концентрації пилу: значення швидкодії вимірювача не повинно перевищувати 0,5 с у діапазоні зміни концентрації від 0 до 3 г/м^3 , якщо дисперсність частинок вугільного пилу складає від 1 до 10 мкм.

З ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЙ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ

3.1 Компенсація дисперсного складу на результат вимірювання концентрації пилу

Основний недолік оптичного методу вимірювального контролю концентрації пилу, якщо використано одне джерело оптичного випромінювання з однією довжиною хвилі, є вплив зміни дисперсності частинок вугільного пилу на результат вимірювання. Тому здійснення градування вимірювача концентрації пилу, що розробляється, повинне виконуватися під час дії конкретних умов шахтної атмосфери. з визначеним діапазоном зміни дисперсного складу частинок пилу.

Для компенсації зміни зазначеного дестабілізуючого фактору виконують контроль зміни параметрів, які визначаються функцією розподілу частинок під час зміни дисперсності об'єму вугільного пилу, що аналізується. Це дозволяє покращити метрологічні характеристики вимірювального контролю концентрації пилу. Для здійснення корекції результатів вимірювання концентрації пилу при динамічному врахуванні параметрів функції розподілу частинок пилу за їх розмірами, пропонується використати спосіб вимірювального контролю концентрації та дисперсності пилу на основі двоканальної системи [20]. Запропонований спосіб дозволяє динамічно відновити функцію розподілу на базі застосування отриманої інформації під час порівняння відношень коефіцієнтів спектрального пропускання. Ці коефіцієнти визначаються для двох оптичних випромінювань, які мають різну довжину хвилі. Схему функціональну схему двоканального вимірювача концентрації та дисперсності вугільного пилу на основі представлено на рис. 3.1.

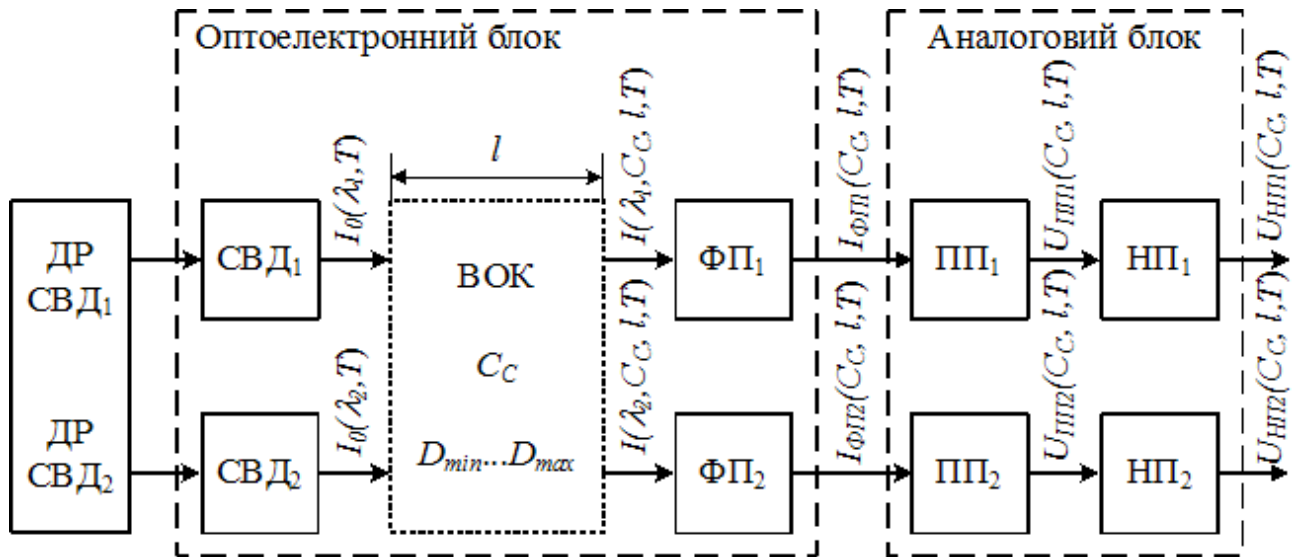


Рисунок 3.1 – Схема функціональна двоканального вимірювача концентрації та дисперсності пилу

Реалізація розробленого способу, який дозволяє виконувати корекцію параметрів функції розподілу частинок вугільного пилу за дисперсністю:

– основі експериментальної даних щодо спектральної прозорості пилогазового середовища визначається:

$$k_{експ}(t) = \frac{\tau_{\lambda_1}^{експ}(t)}{\tau_{\lambda_2}^{експ}(t)}, \quad (3.1)$$

де $\tau_{\lambda_i}^{експ}(t)$ – коефіцієнт прозорості спектру, що визначений експериментально для i -ої довжини хвилі λ_i ($i = 1, 2$) в момент часу t :

$$\tau_{\lambda_i}^{експ}(t) = \ln \frac{I_0(\lambda_i, T)}{I(\lambda_i, C_C, l, T)} = \ln \frac{1}{T_{\Pi\Pi}(\lambda_i, C_C, l, T)}, \quad (3.2)$$

де $T_{\Pi\Pi}(\lambda_i, C_C, l, T)$ – коефіцієнт спектрального пропускання випромінювання, яке пройшло шар повітря з пилом;

– метод, який здійснює циклічний покоординатний спуск, що задається параметрами функції розподілу b , β з кроком Δb , $\Delta \beta$; на базі цих значень розраховується нормуючий множник a у функції розподілу;

– на основі визначених параметрів, які описуються функцією розподілу, розраховується теоретично під час дії кожного кроку ітерації j за часовий інтервал $j \cdot \Delta t$ [20]:

$$k_{теор\ j}(t + j \cdot \Delta t) = \frac{\tau_{\lambda_1\ j}^{теор}(t + j \cdot \Delta t)}{\tau_{\lambda_2\ j}^{теор}(t + j \cdot \Delta t)} = \frac{\int_{D_{min}}^{D_{max}} Q_{осл}(m(\lambda_1), \alpha(\lambda_1)) D^2 \cdot f_j(D) dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} Q_{осл}(m(\lambda_2), \alpha(\lambda_2)) D^2 \cdot f_j(D) dD}, \quad (3.3)$$

де фактори, який визначає ефективність ослаблення $Q_{осл}(m(\lambda_i), \alpha(\lambda_i))$, його значення розраховується на основі теорії Мі під час використання рекурентних співвідношень для різних довжин хвиль λ_i ;

– здійснюється розрахунок різниці коефіцієнтів спектральної прозорості теоретичного $k_{теор\ j}(t + j \cdot \Delta t)$ від експериментального $k_{експ}(t)$:

$$\Delta_j(t + j \cdot \Delta t) = |k_{експ}(t) - k_{теор\ j}(t + j \cdot \Delta t)|. \quad (3.4)$$

Якщо досягнуто оптимум значень параметрів функції розподілу частинок пилу за його дисперсним складом за формулою (3.4), це значення повинно бути мінімальним $\Delta_j(t + j \cdot \Delta t) \rightarrow \Delta_{min}$. Під час розрахунку в аналізованому об'ємі встановлюється значення масової концентрації зваженого пилу. Визначення об'ємно-поверхневого діаметрі частинок D_{32} здійснюється під час усереднення залежностей для різних довжин хвиль за формулою:

$$C_C(t + M \cdot \Delta t) = \frac{\rho_{II} \cdot D_{32}}{18 \cdot l} \left(\frac{\tau_{\lambda_1}^{експ}(t)}{\overline{Q}(m(\lambda_1), \alpha(\lambda_1))} + \frac{\tau_{\lambda_2}^{експ}(t)}{\overline{Q}(m(\lambda_2), \alpha(\lambda_2))} \right), \quad (3.5)$$

де $\overline{Q}(m(\lambda_i), \alpha(\lambda_i))$ – фактор ефективності ослаблення оптичного випромінювання, який усереднений, його величина залежить від значення комплексного показника заломлення $m(\lambda_i)$ та параметра дифракції $\alpha(\lambda_i)$, який теж усереднений.

Для реалізації розроблено способу вимірювання концентрації вугільного пилу та його дисперсності вибір джерел випромінювання, які мають центральні довжини хвиль λ_1 і λ_2 , не має строгих обмежень [20]. Значення довжин хвиль λ_1 і λ_2 повинні бути були не змінним. Ще однією умовою є те, що між $I_0(\lambda_1, T)$ і $I_0(\lambda_2, T)$ двох оптичних потоків випромінювання слід встановити таке співвідношення, щоб величини вихідних струмів фотоприймачів ФП₁ та ФП₂ дорівнювали між собою $I_{\Phi D1}(C_C, l, T) = I_{\Phi D2}(C_C, l, T)$, якщо концентрації пилу $C_C = 0$ г/м³.

На базі спектральних характеристик потужності оптичного випромінювання та параметрів СВД визначено, що СВД типу C503-BAN і C503-RAN ($\lambda_1 = 0,47$ мкм та $\lambda_2 = 0,624$ мкм) мають практично однакове значення максимальної величини потоків випромінювання ($\Phi_{e0\text{ СВД}} = 7,5$ мВт). Під час визначення значень коефіцієнтів використання потоків випромінювання СВД для використаних фотоприймачів типу BPW21R отримано, що $\vartheta(T)_{C503-BAN} = 0,752$ і $\vartheta(T)_{C503-RAN} = 0,825$. Це свідчить про те, що з підвищенням інтенсивності випромінювання СВД типу C503-BAN під час виконання початкової настройки двох каналів вимірювача концентрації вугільного пилу та його дисперсності пилу можна забезпечити умову $I_{\Phi D1}(C_C, l, T) = I_{\Phi D2}(C_C, l, T)$, якщо концентрація пилу дорівнює $C_C = 0$ г/м³.

Під час реалізації вимірювального каналу концентрації вугільного пилу та його дисперсності використані СВД типу С503-BAN з довжиною хвилі $\lambda_1 = 0,47$ мкм та С503-RAN ($\lambda_2 = 0,624$ мкм). Характеристики перетворення вимірювальних каналів вихідної напруги НП₁ та НП₂ в діапазоні вимірювання від 0 до 3 г/м³ з довжиною оптичної траси $l = 135$ мм зі зміною температури поверхні випромінювання СВД представлено на рис. 3.2, де введено такі позначення: — — — характеристики перетворення, якщо температура дорівнює $T = 20^\circ\text{C}$; — — — при $T = 40^\circ\text{C}$.

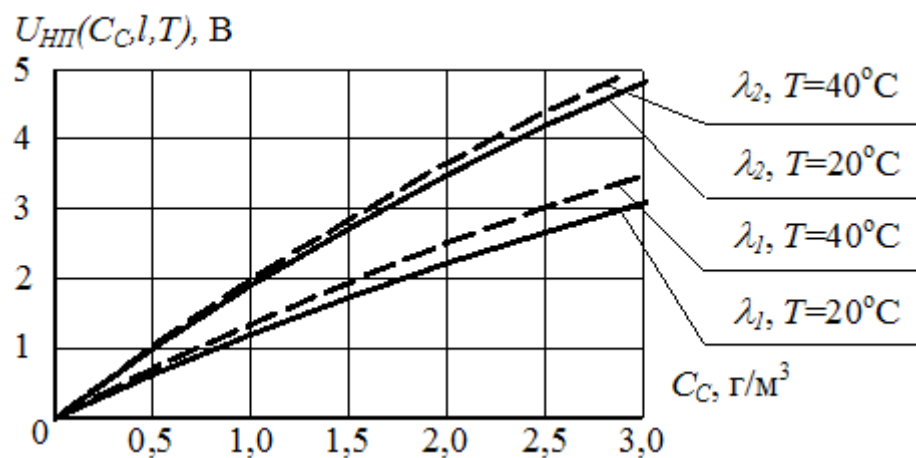


Рисунок 3.2 – Характеристики перетворення вимірювача від зміни C_C та температури 20°C і 40°C

Під час аналізу отриманих характеристик (див. рис. 3.2) можна зробити висновок, що з підвищенням температури випромінюючої поверхні СВД збільшується значення додаткової адитивної складової абсолютної похибки вимірювання концентрації пилу. Величина цієї похибки для СВД₁ типу С503-BAN дорівнює $\Delta_{C_C} = 0,384$ г/м³, а для СВД₂ типу С503-RAN – $\Delta_{C_C} = 0,151$ г/м³ у діапазоні вимірювальної концентрації вугільного пилу від 0 до 3 г/м³. Зміну зазначеного дестабілізуючого фактору на результати вимірювання концентрації вугільного пилу слід зменшити завдяки введенню апаратної надмірності й компенсації дрейфу температури вихідних сигналів вимірювача, що розробляється.

3.2 Компенсація зміни температури на показники точності вимірювання концентрації пилу

Для того, щоб підвищення точність вимірювання концентрації пилу, виконується облік і компенсацію дрейфу температуру. Цей дрейф викликаний зміною температури поверхні під час випромінювання СВД. Визначений факт обумовлює зростання значення додаткової адитивної складової абсолютної похибки вимірювання концентрації пилу під час зміни температури $(20 \pm 15)^\circ\text{C}$.

Відомі способи компенсації дрейфу вихідної напруги вимірювачів від зміни температури поділяють на дві групи: конструктивні або технологічні (конструктивна ізоляція від впливу температури та термостатування) та способи, що оптимізують робочий режим СВД. Оптимізаційні способи є складними під час схемної реалізації тому що оптико-електронні компоненти мають суттєвий розкид характеристик і параметрів. У залежності від партії СВД, яка вироблено, необхідне індивідуальне градуювання під час зміни температури. Під час конструктивної ізоляція від зовнішнього впливу температури має місце деградації оптико-електронних компонент протягом деякого часу. Також випромінююча величина СВД залежить від значення струму живлення, який є джерелом тепла. Він нагріває корпус оптико-електронного вимірювача та має місце постійна часу в тепловому перехідному процесі.

Відомі два способи термостатування характеристик і параметрів оптико-електронних компонентів, один з яких оснований на використанні в схемі вимірювача термочутливого елементу, а другий – реалізація вимірювача з додатковим закритим оптичним каналом компенсації. У вихідному сигналі цього каналу міститься тільки інформаційна складова щодо зміни температури поверхні СВД. У обох способах інформаційні сигнали від термочутливого елементу щодо зміни температури масштабуються, а потім виконується віднімання з вихідного сигналу основного інформаційного сигналу завдяки застосуванню диференціальної схеми. Ці способи мають труднощі під час

реалізації, які обумовлено істотним розкидом характеристик оптико-електронних компонентів у вимірювачі. Під час підбору необхідних температурних коефіцієнтів у компенсаційному каналі, який має в своєму складі термочутливий елемент, виникають також труднощі з використання додаткових оптико-електронних компонентів у складі вимірювачі, що підвищує його вартість удвічі.

На основі виконаного аналізу запропонований варіант способу схемотехнічної реалізації на базі двоканального вимірювача, до якого додатково введений закритий оптичний канал. Цей канал використовується для компенсації дрейфу температури. Компенсаційний канал об'єднаний з ВОК де використано два вимірювальні осередки, які мають різні довжини хвиль випромінювань. Схему функціональну оптико-електронного блоку вимірювача концентрації пилу та його дисперсності з термокомпенсацією наведено на рис. 3.3, де позначено: СВД_i – світловипромінюючі діоди; ДР – драйвер живлення СВД_i, які складаються з електронних ключів, що комутуються сигналами керування СК_i від мікроконтролера; НПДЗ – напівпрозоре дзеркало, яке має коефіцієнт віддзеркалення $K_{ВДДЗ}(\lambda_i)$ та пропускання $K_{ПР}(\lambda_i)$; ФД₁ – фотодіод, який використовується в закритому оптичному каналі, його вихідний фотострум $I_{ФД1}(\lambda_i)$; ФД₂ – фотодіод ВОК з фотострумом $I_{ФД2}(\lambda_i, C_C)$; $I_0(\lambda_i)$ – величина початкової інтенсивності двох оптичних випромінювань у ВОК, які мають довжини хвиль λ_i ($i=1,2$); $I(\lambda_i, C_C, l)$ – інтенсивності випромінювання, що пройшли через ВОК, та мають часткове поглинення завдяки наявності пилового аерозолі, який має концентрацією, C_C г/м³.

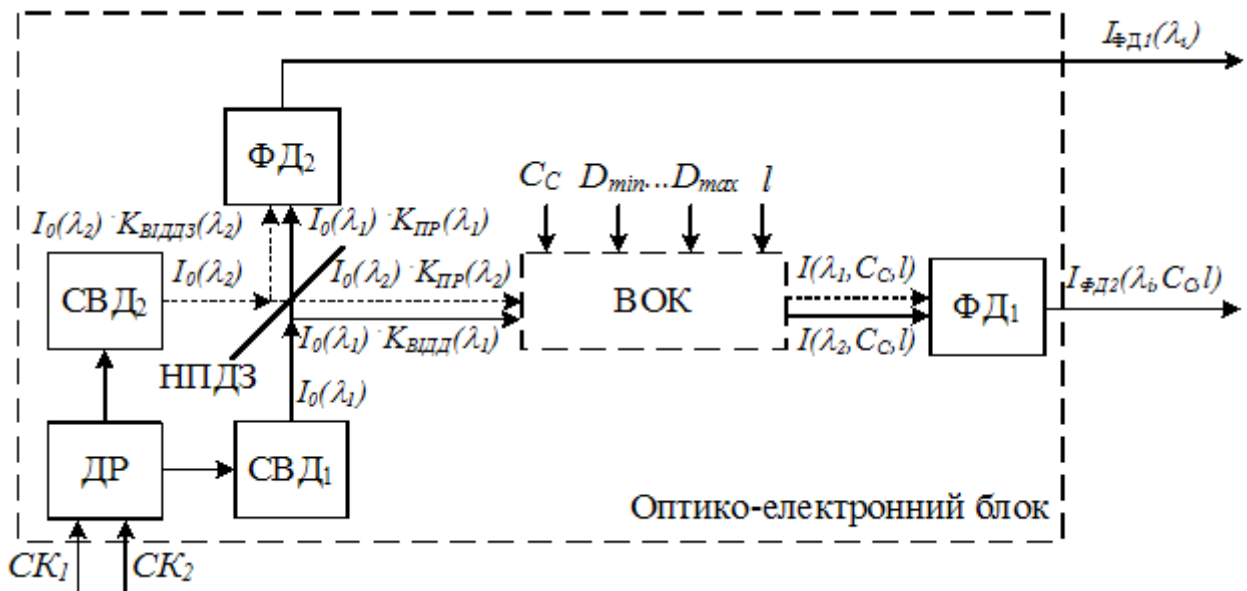


Рисунок 3.3 – Схема функціональна схема оптико-електронного блоку вимірювача концентрації пилу та його дисперсності з термокомпенсацією

Компенсації дрейфу вихідного сигналу вимірювача від зміни температури полягає у тому, що оптичне випромінювання, яке має початкове значення інтенсивності $I_0(\lambda_i, T)$ від СВД_i завдяки НПДЗ поділяється:

- у закритому каналі $I'(\lambda_i, T) = [I_0(\lambda_i) + \Delta I(T)] \cdot K_{ВІДДЗ}(\lambda_i)$ та
- у відкритому каналі $I(\lambda_i, C_C, l, T) = [I_0(\lambda_i) \cdot T_{ПР}(\lambda_i, C_C, l) + \Delta I(T)] \cdot K_{ПР}(\lambda_i)$.

Ці потоки потрапляють до відповідних фотодіодів ФД₁ та ФД₂. Потім перетворення інформаційних сигналів здійснюється в аналого-цифровому блоці, схему структурну якого представлено на рис. 3.4, де позначено: ППерКК – попередній перетворювач компенсаційного каналу; ППерОК – попередній перетворювач оптичного каналу; МАС₁ і МАС₂ – мультиплексори аналогових сигналів; ППКК₁ і ППКК₂ – попередні підсилювачі компенсаційного каналу, в яких має місце інформаційна складова від СВД з різними довжинами хвиль λ_1 і λ_2 ; ППВК₁ і ППВК₂ – попередні підсилювачі оптичного каналу, в яких має місце інформаційна складова від СВД з різними довжинами хвиль λ_1 і λ_2 ; ДП₁ і ДП₂ – диференціальні підсилювачі; НП₁ і НП₂ – нормуючі підсилювачі; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; МК –

мікроконтролер, який здійснює обробку експериментальних даних, та формує сигнали керування $СК_1$ та $СК_2$, а також розраховує значення концентрації вугільного пилу C_C з дисперсністю D .

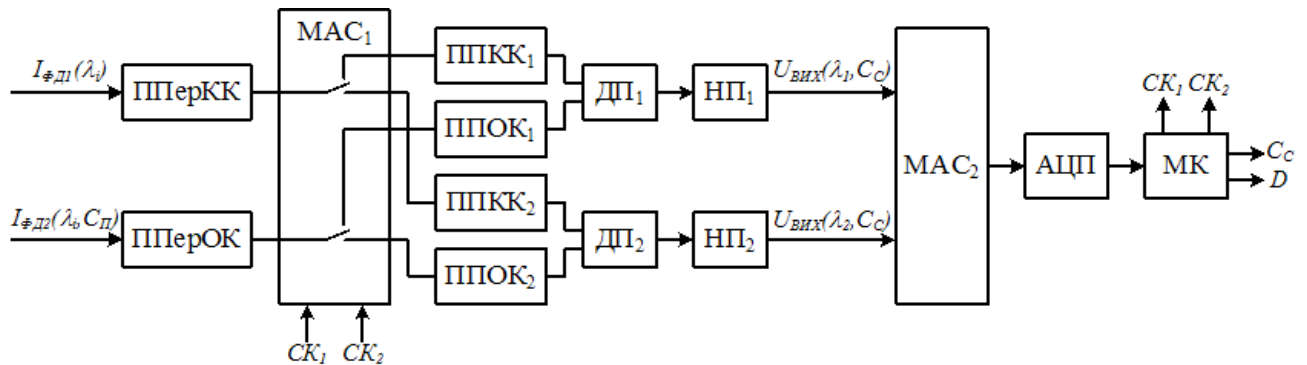


Рисунок 3.4 – Схема структурна аналого-цифрового блока вимірювача концентрації вугільного пилу та його дисперсності з компенсацією температурного дрейфу

Вибір НПДЗ здійснюється на базі його спектральних характеристик віддзеркалення та пропускання оптичного випромінювання від СВД₁ і СВД₂. Для усунення надмірного засвічування фотоприймача ФД₁ закритого каналу для компенсації зміни температури необхідно, щоб на довжині хвилі СВД₁ $\lambda_1 = 0,47$ мкм інтенсивність випромінювання, що віддзеркалено, яке проходить через ВОК на потрапляє до ФД₂, була більше в декілька разів величини випромінювання, що пройшло КОК $I_0(\lambda_1) \cdot K_{\text{ПР}}(\lambda_1)$. Для СВД₂, який має довжину хвилі $\lambda_2 = 0,624$ мкм необхідно навпаки, щоб інтенсивність випромінювання, що віддзеркалено $I_0(\lambda_2) \cdot K_{\text{ВДДЗ}}(\lambda_2)$ надходило до ФД₁, була менше в декілька разів випромінювання $I_0(\lambda_2) \cdot K_{\text{ПР}}(\lambda_2)$, що пройшло через ВОК на ФД₂.

Під час аналізу параметрів світлових фільтрів, які мають властивості напівпрозорого дзеркала, пропонується використовувати фільтр типу 589FIN25. Його спектральні характеристики коефіцієнтів віддзеркалення та пропускання (див. рис. 3.5) відповідають вимогам:

– для довжини хвилі $\lambda_1 = 0,47$ мкм СВД типу C503-BAN $K_{\text{ПР}}(\lambda_1) = 0,135$ і $K_{\text{ВІДІДЗ}}(\lambda_1) = 0,865$;

– для $\lambda_1 = 0,624$ мкм СВД типу C503-RAN $K_{\text{ПР}}(\lambda_2) = 0,748$ і $K_{\text{ВІДІДЗ}}(\lambda_2) = 0,252$.

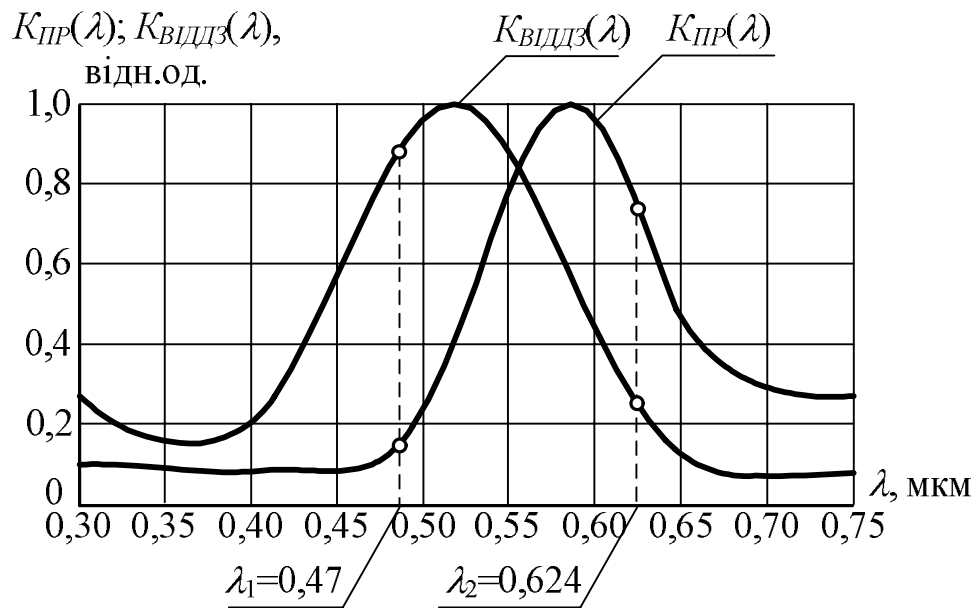


Рисунок 3.5 – Спектральні характеристики коефіцієнтів віддзеркалення та пропускання оптичного випромінювання для НПДЗ типу 589FIN25

Принцип роботи оптико-електронного блоку вимірювача (див. рис. 3.4): оптичне випромінювання від СВД₂, яке має центральну довжину хвилі $\lambda_2 = 0,624$ мкм надходить до НПДЗ. Потік випромінювання частково віддзеркалюється та надходить до ФД₁. Де також відбувається часткове пропускається, яке має більшу інтенсивність випромінювання та проходить через ВОК, у якому знаходиться вимірювальна концентрація пилу, до вікна ФД₂. Оптичне випромінювання від СВД₁ з центральною довжиною хвилі $\lambda_1 = 0,47$ мкм аналогічно потрапляє спочатку до НПДЗ, а потім під час часткового пропускання, яке має меншу інтенсивність випромінюванню. Цей потік потрапляє до ФД₁, частково віддзеркалюється та проходить через той самий ВОК до вікна ФД₂. СВД₁ і СВД₂ включаються по черзі: в перший момент

часу під час надходження цифрового сигналу від мікроконтролера (МК) на ДР (СК₁) підключаються СВД₁. При цьому одночасно комутуються виходи ПП компенсаційного та відкритого каналів (ППерКК і ППерОК) з входами ППКК₁ і ППОК₁ завдяки мультиплексору аналогових сигналів (МАС₁). У інший момент час сигнал СК₂ надходить тим самим включається СВД₂. Здійснюється комутація виходів ПП компенсаційного й відкритого каналів (ППерКК і ППерОК) з входами ППКК₂ і ППОК₂.

ППерКК і ППерОК реалізовано за схемою трансімпедансного підсилювача, вони здійснюють перетворення струму ФД до напруги. Під час здійснення початкової настройки в ППККі та ППОКі амплітуди сигналів від ПП дорівнюють між собою (під час дії поточної температури та $C_C = 0$ г/м³ в ВОК), та здійснюється віднімання завдяки ДП_і:

$$\begin{aligned} U_{ДП_i}(\lambda_i, C_C, l) &= U_{ППКК_i}(\lambda_i, T) - U_{ППОК_i}(\lambda_i, T, C_C, l) = \\ &= [U'_{ППКК_i}(\lambda_i) + \Delta U''_{ППКК_i}(T)] \cdot K_{ВДДЗ}(\lambda_i) - \\ &- [U'_{ППОК_i}(\lambda_i) \cdot T_{ПР}(\lambda_i, C_C, l) + \Delta U''_{ППОК_i}(T)] \cdot K_{ПР}(\lambda_i) \cdot M, \end{aligned} \quad (3.6)$$

де M – коефіцієнт передачі за напругою ППОК_і, що реалізує підсилення його вихідного сигналу до амплітуди вихідного ППКК_і; $U'_{ППОК_i}(\lambda_i)$ і $U'_{ППКК_i}(\lambda_i)$ значення вихідних напруги ППОК і ППКК, що обумовлено величинами інтенсивності оптичного випромінювання відкритого й компенсаційного каналів; $\Delta U''_{ППОК_i}(T)$ і $\Delta U''_{ППКК_i}(T)$ – зміна вихідних напруг ППОК і ППКК під час температурного дрейфу; $T_{ПР}(\lambda_i, C_C, l)$ – коефіцієнт спектральної прозорості ВОК з довжиною траси l та довжиною хвилі випромінювання λ_i від зміни концентрації пилу C_C .

Після перетворення (3.6) отримаємо:

$$\begin{aligned} U_{ДП_i}(\lambda_i, C_C, l) &= U'_{ППКК_i}(\lambda_i) \cdot K_{ВДДЗ}(\lambda_i) - U'_{ППОК_i}(\lambda_i) \cdot T_{ПР}(\lambda_i, C_C, l) \cdot K_{ПР}(\lambda_i) \cdot M = \\ &= U'(\lambda_i) \cdot [1 - T_{ПР}(\lambda_i, C_C, l)], \end{aligned}$$

де $U'(\lambda_i) = U'_{ППК_i}(\lambda_i) \cdot K_{ВЦДЗ}(\lambda_i) = U'_{ППОК_i}(\lambda_i) \cdot K_{ПР}(\lambda_i) \cdot M$.

НП_i здійснюють приведення напруги вихідного сигналу ДП_i до уніфікованого рівня в діапазоні від 0 до 5 В під час зміни концентрації пилу від 0 до 3 г/м³ та початкова установка зсуву нуля, якщо $C_c = 0$ г/м³:

$$U_{НП_i}(\lambda_i, C_c, l) = \frac{R_{33}}{R} \cdot (U_{ДП_i}(\lambda_i, C_c, l) - U_{ЗС}), \quad (3.7)$$

де $U_{ЗС} = U_{ДП_i}(\lambda_i, C_c = 0 \text{ г/м}^3, l)$.

Переключення СВД₁ типу С503-RAN і СВД₂ типу С503-BAN здійснюється з урахуванням їх часових характеристик та часових характеристик ФД типу ВРW21R. Для СВД С503-BAN і С503-RAN:

– час наростання імпульсу $t_{нар СВД}$, мкс 10;

– час спаду імпульсу $t_{сп СВД}$, мкс 12.

Для ФД₁ і ФД₂ типу ВРW21R:

– час наростання імпульсу $t_{нар ФД}$, мкс 3,1;

– час спаду імпульсу $t_{сп ФД}$, мкс 3,0.

СВД має більше значення інерційності ніж ФД. Час роботи СВД під час почергового перемикавання задається на порядок – два більше, ніж його час включення або виключення ($t_{iСВДi} \geq 0,1$ мс). У відповідності з алгоритмом почергове переключення двох СВД організовується на основі часовими діаграмами, що наведені на рис. 3.6, де: $t_{iСВД1}$, $t_{iСВД2}$ – час включення оптичного випромінювання від СВД₁ і СВД₂; $t_{опит}$ – час опитування виходів НП₁ і НП₂; $t_{розн}$ – повний час виконання всіх розрахунків у відповідності з розробленим алгоритмом, а саме розрахунок коефіцієнтів функції розподілу частинок за дисперсністю, визначення концентрації вугільного пилу. Величина $t_{розн}$ залежить від частоти роботи мікроконтролера, яка визначає швидкодією модуля розрахунку вимірювача.

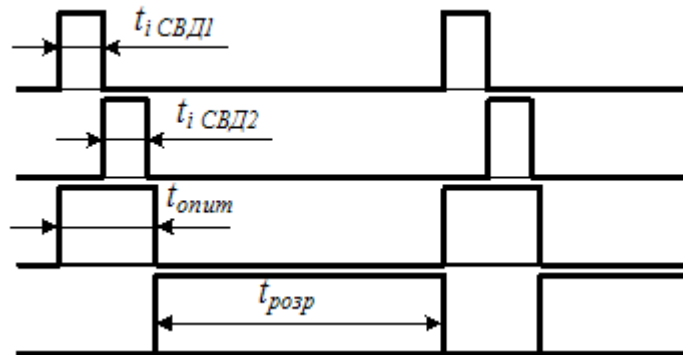


Рисунок 3.6 – Часові діаграми роботи вимірювача концентрації вугільного пилу

Зміни значення вихідних напруг НП₁ (для СВД з $\lambda_1 = 0,47$ мкм) і НП₂ ($\lambda_2 = 0,624$ мкм) від концентрації пилу в діапазоні від 0 до 3 г/м³ представлено на рис. 3.7.

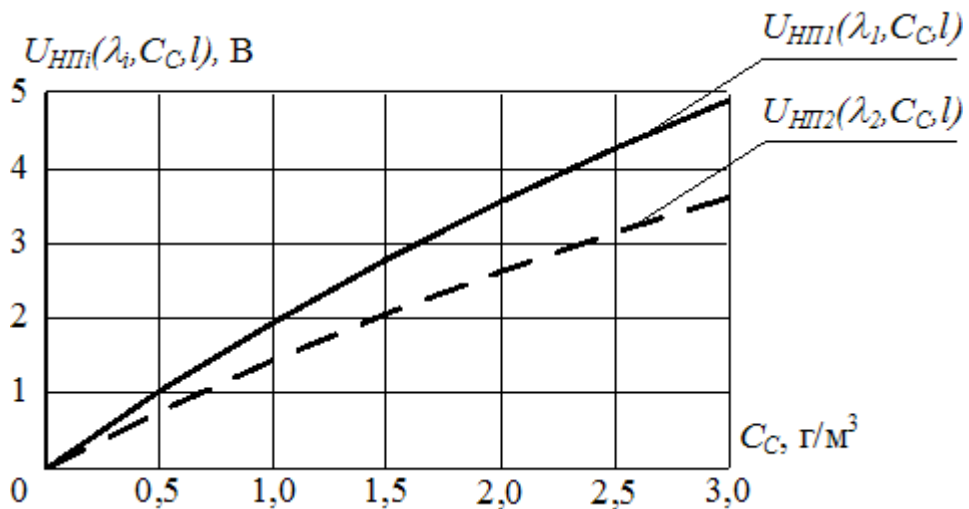


Рисунок 3.7 – Вихідні напруги НП1 і НП2 під час зміни концентрації вугільного пилу в ВОК з урахуванням температурної компенсації

З аналізу отриманих результатів під час реалізації способу компенсації температурного дрейфу вимірювача концентрації пилу можна зробити висновок, що величина вихідних напруг НП₁ і НП₂ (див. рис. 3.7) не залежить від зміни температури. Тому застосування цього способу дозволяє усунути вплив зміни температури на результати вимірювання концентрації пилу.

3.3 Врахування запилення компонентів вимірювача концентрації пилу

Для здійснення захисту лінз оптичної системи від впливу зовнішнього середовища перед ними в оптико-електронному блоці випромінювача та ФД додатково розташовують оглядові стекла. Під час експлуатації ці стекла повинні бути чистими для того, щоб до результату вимірювання концентрації пилу не спотворювалися від дії додаткових похибок вимірювання, які обумовлено забруднення. Має місце декілька шляхів захисту стекел: зменшення осадження частинок пилу на стекла та автоматична корекції, яка вноситься до результату вимірювання, що виключає вплив запилення стекел. Перша група включає наступні методи боротьби з запиленням оптичних елементів вимірювача концентрації пилу:

- обдування захисних стекел, що здійснюється чистим повітрям, яке надходить до зовнішньої поверхні скла, у цього методи основним недоліком є те, що порушується структура вимірювального пилового аерозолі;

- застосування трубки Вентурі для утворення розрядження на ділянках перед оглядовими стеклами, цей захід доцільно використовувати під час здійснення вимірювання низьких концентрацій;

- підігрівання стекел під час нанесення тонкого прозорого шару матеріалу, що проводить електричний струм, завдяки цьому створюється конвекційний шар повітря, в якому відсутні частинки пилу;

- обдування стислим повітрям протягом деякого часу запилених стекел, для здійснення цього використовується додатковий пристрій, який має електронне керуванням клапана балончика з стислим повітрям;

- використання фільтрів, перегородок для захисту та насадок (бленд), що перешкоджає осадженню частинок пилу на оптичні стекла. Насадка робиться в формі трубки, де розташовано всередині перегородки, що зроблено у вигляді конусних кілець. Кільця цієї форми утворюють екрани, що розбивають завихрення потоку повітря з пилом, при цьому пил осідає між кільцями. Основна перевага використання насадок: є те, що вони прості під час

виготовлення.

У методи першої групи є такі недоліки: складність під час виготовлення, а також збільшення габаритів вимірювача концентрації пилю, підвищення енергетичних витрат. Також, під час використання пилозахисних насадок, що може здійснюватися тривалий час, зростає ризик забруднення скла, що призведе до спотворення результатів вимірювань.

Методи другої групи мають автоматичну корекцію результатів вимірювань, що передбачає вимірювання ступеня запилення стекол, яка здійснюється додатковим контрольним фотоприймачем. Також, під час застосування розробленого алгоритму, який здійснює обробку експериментальних даних для корекції результатів вимірювання концентрації вугільного пилю можна знизити значення адитивної складової похибки від запилення скла.

Для підвищення захищеності вузлів оптичного вимірювача від запилення рекомендується застосовувати пилозахисні насадки – бленди 1 (див. рис. 3.8). Під час проведення промисловими випробувань різних типів оптичних приладів, які розташовані в потоці повітря з пилом, встановлено, що під час використання насадок з п'ятьма конусними кільцями, отримано значний пиловий захисту оптичних вузлів.

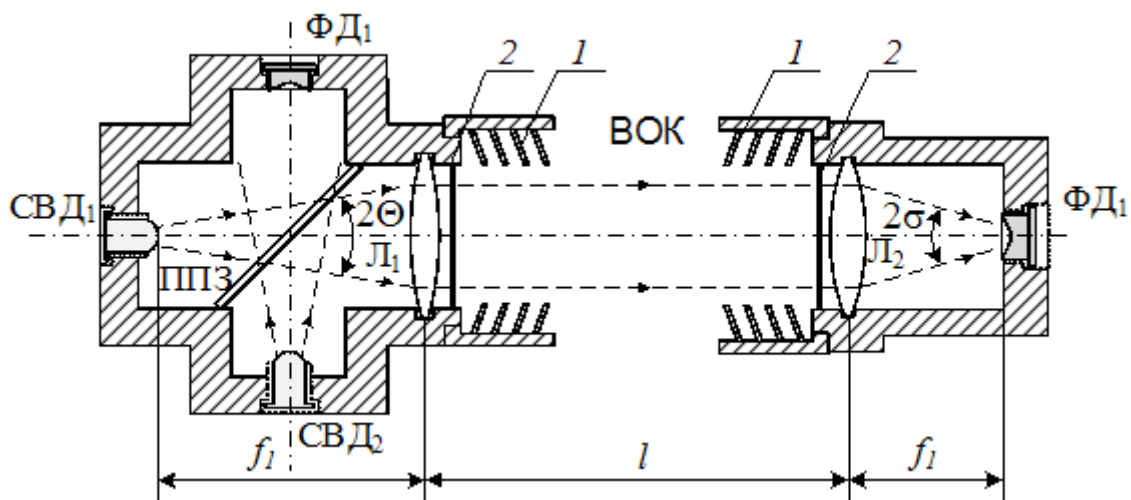


Рисунок 3.8 – Схема оптична вимірювача концентрації пилю, яка має пилозахисні бленди

Перед початком експлуатації для конкретних виробничих умов у вугільній шахті необхідно здійснити попереднє градування, під час якого встановлюється максимальний ступінь забруднення на оптиці. Це забруднення допускається без зменшення метрологічних характеристик вимірювача концентрації вугільного пилу.

Для зменшення адитивної частини похибки вимірювання концентрації пилу необхідно застосовувати програмний алгоритм компенсації. Для його реалізації необхідно заздалегідь визначити швидкість забруднення оптичних стекол (див. рис. 3.8) вимірювача під час дії виробничих умов. Компенсація похибки від запилення оптичних вузлів допускає застосування встановлених заздалегідь поправочних коефіцієнтів.

3.4 Висновки

Для забезпечення необхідної точності вимірювання концентрації вугільного пилу з дисперсністю розроблений двоканальний оптичний спосіб. Під час його реалізації обґрунтовані вимоги до вибору СВД типу С503-BAN з $\lambda_1 = 0,47$ мкм та С503-RAN – $\lambda_2 = 0,624$ мкм.

Розраховані характеристики перетворення оптичного вимірювача двох відкритих оптичних каналів з довжиною траси 135 мм та визначені додаткові нелінійні адитивні складові похибки вимірювання концентрації пилу, які обумовлено зміною температури, значення яких складають для СВД₁ С503-BAN $\Delta_{C_c}(T) = 0,384$ г/м³ та СВД₂ С503-RAN – $\Delta_{C_c}(T) = 0,151$ г/м³.

Розроблений метод апаратної компенсації дрейфу вихідного сигналу вимірювача від зміни температури, який використовує додатковий закритий оптичний канал.

Для збільшення ступеня захисту оптичних елементів від запилення пропонується разом з автоматичною корекцією застосовувати пилозахисні бленди, які мають конусні кільця.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ВИБУХОВОСТІ АТМОСФЕРИ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

4.1 Розробка структурної схеми інформаційно-вимірювальної системи концентрації пилу

На основі виконаних досліджень та багатопараметричного функціонала (1.6) виконано синтез структури вимірювача, а також сформульовано технічні вимоги до його блоків і вузлів. Здійснення безперервного вимірювального контролю концентрації вугільного пилу дозволить застосовувати вимірювач як підсистему, яка входить до складу технологічного комплексу аерогазового захисту УТАС. Під час об'єднання в УТАС функцій вимірювання концентрації метану та вологості в гірничих виробках дозволить у реальному режимі часу виконувати оцінку вірогідності виникнення вибухонебезпечної ситуації в вугільних шахтах. На базі вимог, що висувуються до вимірювача, який розробляється, визначені базові функції:

- 1) вимірювання концентрації зваженого полідисперсного пилу C_c за вагою в вугільних шахтах;
- 2) забезпечення режимів роботи СВД апаратно-програмним способом керування;
- 3) врахування та компенсація впливу основних дестабілізуючих факторів – дисперсного складу пилу й температури, зміна яких підвищує величину додаткової похибки під час вимірювання концентрації вугільного пилу;
- 4) перетворення інформативних оптичних сигналів, що пройшли через відкритий оптичний канал, їх обробка, а також приведення до уніфікованого вигляду для подальшої цифрової обробки;
- 5) врахування запилення оптичних елементів вимірювача концентрації пилу та здійснення корекція результатів вимірювань;

6) обробка цифрових інформаційних сигналів, під час виконання якої розраховуються параметри функції розподілу частинок пилу за дисперсністю та концентрація вугільного пилу за масою в об'ємі проби, що аналізується, в режимі реального часу;

7) вимірювання об'ємної концентрації метану C_{CH_4} , а також абсолютної вологості повітря γ_B у гірничих виробках шахт;

8) розрахунок меж вибуховості вугільного пилу на базі значень вимірюваних параметрів вибухонебезпечної суміші повітря з пилом;

9) зберігання інформації щодо динамічних змін параметрів атмосфери шахт для їх оцінки та розрахунку вірогідності виникнення вибухонебезпечної ситуації в шахті;

10) ініціалізація та діагностика апаратних засобів, що підключаються до вимірювача;

11) приймання та передавання інформації від вимірювальних каналів за допомогою телекомунікаційних ліній зв'язку до пункту керування технологічними процесами системи АГЗ вугільної шахти;

12) відображення та реєстрація поточної інформації про зміни параметрів атмосфери вугільної шахт.

Згідно з наведеними вище базовими функціям виконаний їх аналіз.

Вимірювач запилення повинен здійснювати безперервний контроль концентрації вугільного пилу, який зважено в повітрі, (функція 1) завдяки двохпроменевому оптичному методу в діапазоні вимірювання від 0 до 3000 мг/м^3 , при цьому значення абсолютної похибки вимірювання повинно перевищувати 50 мг/м^3 .

Під час проходження через відкритий та закритий канали оптичне випромінювання від СВД₁ і СВД₂ попадає до об'єктивів фотодіодів ФД₁ і ФД₂. Режими роботи СВД₁ і СВД₂ визначаються драйверами керування, які включають їх по черзі на час $t_{i\text{СВД}i}$ (див. рис. 3.6) за допомогою сигналів керування СК₁ і СК₂ від мікроконтролера, що реалізовано апаратно-програмний способом керування СВД (функція 2).

З виходів $\Phi Д_1$ і $\Phi Д_2$ інформаційні сигнали передаються до входів аналогового блоку, який здійснює їх перетворення та обробку. У цьому блоці відбувається температурна компенсація на апаратному рівні під час комутації двох каналів, які мають різні довжини хвиль випромінювання (функція 3).

Аналоговий блок здійснює масштабування та приведення сигналів до уніфікованого вигляду вихідної напруги в діапазоні від 0 до 5 В (функція 4) під час зміни концентрації вугільного пилу від 0 до 3000 мг/м³. Потім здійснюється їх цифрова обробка на основі розробленого алгоритму роботи вимірювача концентрації пилу.

У розробленій конструкції оптико-електронного блоку вимірювача (див. рис. 3.8) передбачено додатковий контрольний $\Phi Д_3$. Він забезпечує вимірювання ступеня запилення стекол. Вихідний сигнал $\Phi Д_3$ після перетворення уніфікується та передається через мультиплексор аналогових сигналів до входу АЦП. Після цього здійснюється його подальша цифрова обробка, яка включає урахування запилення (функція 5) стекол вимірювача.

Цифровий блок обробки сигналів здійснює:

- перетворення сигналів вихідних напруг, які уніфіковано, від двох каналів вимірювача, які мають різні довжини хвиль випромінювання, з виходів аналогового блоку до цифрових кодів;

- виконання порівняння теоретичних і експериментальних значень коефіцієнтів спектральної прозорості, що здійснюється методом покоординатного спуску, цей метод реалізований в алгоритмі обробки експериментальних даних, завдяки цьому визначаються коефіцієнти в функції розподілу частинок вугільного пилу;

- побудова функції розподілу частинок пилу здійснюється в режимі реального часу (функція 6), на її базі виконується розрахунок значень концентрації вугільного пилу, за масою, для цього реалізується врахування впливу зміни дисперсності на результати вимірювання концентрації пилу (функція 3) у об'ємі пилового аерозолю, що аналізується

Мікропроцесорний блок вимірювача для визначення порогу вибуховості

газової суміші з пилом здійснює вимірювання об'ємної концентрації метану C_{CH_4} та величини абсолютної вологості повітря γ_B у гірничих виробках (функція 7). Вимірювання концентрації метану здійснюється в діапазоні від 0 до 4^{об.}% з похибкою вимірювання не більше $\pm 0,2^{об.}\%$. Вимірювання відносної вологості повітря здійснюється в діапазоні від 0 до 100 % під час зміни температури від +5 до +35°C, тиску – від 87,8 до 119,7 кПа.

Застосування багатопараметричного функціонала (1.6) дозволяє визначати нижню межу вибуховості вугільного пилу (функція 8) під час зміни об'ємної концентрації метану для різних типів вугільних пластів зі заданими параметрами зольності A^d та виходу летючих газових компонент V_C^{daf} .

Вимірювач концентрації вугільного пилу здійснює документування та зберігання експериментальних даних щодо зміни параметрів атмосфери шахти (функція 9) задля:

- визначення динаміки зміни параметрів атмосфери протягом часу та розрахунки характеристик вірогідності виникнення вибухонебезпечної ситуації у вугільній шахті;

- оцінка середніх за зміну статистичних показників шкідливості роботи гірників в шахті, здійснення порівняльного аналіз значень цих параметрів з гранично-припустимими атмосфери шахт задля обґрунтування подальших заходів для забезпечення техніки безпеки.

Вимірювач виконує ініціалізацію та самодіагностування апаратних засобів (функція 10). Після включення та ініціалізації вимірювача протягом його роботи безперервно виконується в автоматичному режимі його діагностика, та за необхідності, виконується генерування кодів помилок, що пов'язані з можливими відмовами або несправностями вузлів, потім інформація передається каналами зв'язку до диспетчерської та пункту керування системою аерогазового контролю.

Приймання та передача інформації від блоку діагностики та вимірювальних каналів (функція 11) кожної з ділянок виробництва передається телекомунікаційними лініями зв'язку за встановленим протоколом (RS-485) до

диспетчерського пункту, який здійснює керування системою аерогазового захисту вугільної шахти.

Відображення поточної інформації та її реєстрація щодо зміни значень окремих компонентів і параметрів атмосфери шахт (функція 12) виконується в режимі реального часу у вигляді цифрової індикації графіками функцій, часовими діаграмами та чисельними значеннями параметрів.

Вимоги, що встановлено до базових функцій апаратних засобів і блоків вимірювача концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт, а також урахування можливих зв'язків дозволили об'єднати їх до єдиної системи. Структурну схему цієї системи наведено на рис. 4.1, де представлено блоки апаратних засобів, що утворюють наступні підсистеми вимірювача:

- підсистему вимірювання концентрації вугільного пилу в діапазоні від 0 до 3 г/м^3 , до складу якого входять драйвери керування (1) режимами роботи оптико-електронної компонент вимірювача (2) та аналогового блоку перетворення, компенсації температури, а також масштабування вимірювальної інформації (3), оптико-електронний блок вимірювання запилення (4) оптичних компонентів вимірювача з вихідним сигналом, що уніфікований в аналоговому блоці (5);

- підсистему вимірювання об'ємної концентрації метану (6) в діапазоні від 0 до $4 \text{ об.}\%$;

- підсистему вимірювання вологості й температури атмосфери шахт (7) у діапазоні від 0 до 100 % під час зміни температури від $+5$ до $+35^\circ\text{C}$;

- цифрового блоку, до складу якого входить мікроконтролер МК, інтерфейсу зв'язку (13) з системою АГЗ вугільної шахти (17), який здійснюється за протоколом RS-485 передачі даних і блоку цифрової індикації (16).

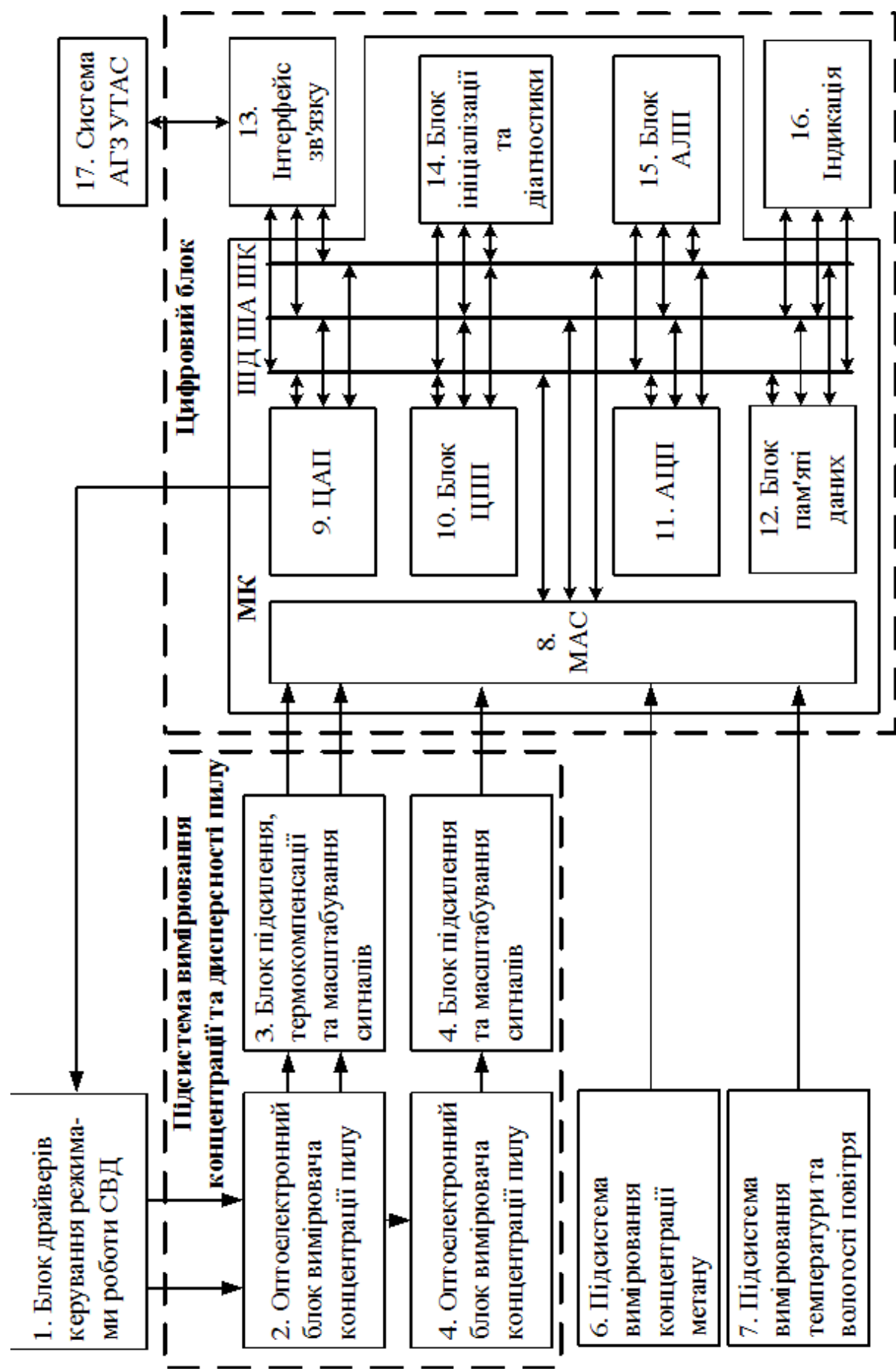


Рисунок 4.1 – Схема структурна вимірювача концентрації вугільного пилу

Для організації цифрової підсистеми вимірювача концентрації пилу використаний МК, який здійснює функції керування роботою окремих підсистем, розрахунок, обробку, індикацію та передачу інформації. До складу МК входять такі блоки: комутатор – мультиплексор аналогових сигналів МАС (8), цифро-аналоговий перетворювач ЦАП (9), центральний процесорний пристрій ЦПП (10), аналого-цифровий перетворювач АЦП (11), пам'ять даних (12), блок ініціалізації та діагностики (14) та арифметико-логічний пристрій АЛП (15).

Блок ЦПП (10) виконує детектування команд, що розміщено в пам'яті програм та керує роботою мікроконтролера. Він генерує команди за допомогою ЦАП для здійснення керування блоком драйверів СВД вимірювача концентрації пилу. ЦПП має шини керування (ШК), адреси (ША) пам'яті програм та даних (ШД). ЦПП працює разом з блоком АЛП (15), які виконують логічні та арифметичні операції. Для організації роботи з пам'яттю даних (12) використовується АЛП (15). Він здійснює виконання логічних, арифметичних операцій, а також керування прапорами (бітами) стану під час виконання команд в залежності від отриманого результату.

Блок АЦП (11) здійснює перетворення інформаційних уніфікованих сигналів напруги, які надходять з виходів вимірювальних каналів концентрації метану, концентрації пилу, вологості повітря та температури, запилення оптичних компонентів до цифрових кодів методом послідовного наближення.

Схему структурну підсистеми вимірювання концентрації пилу, яка здійснює апаратну компенсацію зміни температури, а також запилення оптичних елементів представлено на рис. 4.2. Інформаційні сигнали формуються в оптичному вимірювачі концентрації вугільного пилу під час почергово проходження через оптичний канал випромінювання від ДВ₁ (СВД₁) типу С503–RAN та ДВ₂ (СВД₂) типу С503–BAN). Оптичне випромінювання надходить до фотоприймача ФП₂ (ФД) типу ВРW21R. Випромінювання частково поглинається завдяки наявності в ВОК вугільного пилу та частково передається до вікна ФП₂ з коефіцієнтом пропускання $T_{\text{пр}}(C_c)$. Значення цього

коефіцієнта пропорційно концентрації пилу C_C у ВОК. Драйвери керування ДР₁ і ДР₂ задають режим роботи ДВ₁ та ДВ₂ у відповідності з командами від МК у формі сигналів керування СК1 і СК2.

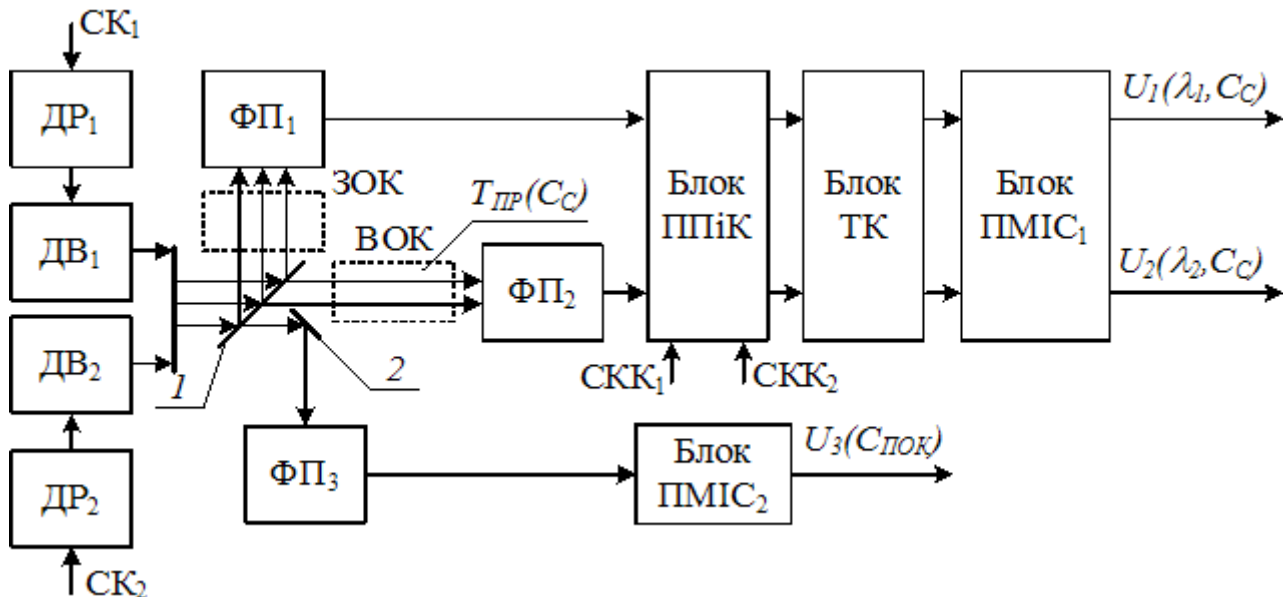


Рисунок 4.2 – Схема структурна підсистеми вимірювання концентрації вугільного пилу

У вимірювачі використаний додатковий закритий оптичний канал (ЗОК), який призначено для компенсації температурного дрейфу його вихідного сигналу. Розроблена конструкція оптико-електронного блоку вимірювача таким чином, що оптичне випромінювання від ДВ₁ і ДВ₂ по черзі перед тим як потрапити до ВОК надходить до напівпрозорого дзеркала 1. Це випромінювання частково віддзеркалюється, потім надходить до ЗОК та проходить до вікна ФП₁. Вихідні сигнали струму від ФП₁ і ФП₂ передаються до попереднього підсилення і комутації (ППіК), структурну схему цього блоку наведено на рис. 4.3.

У блоці ППіК завдяки попереднім перетворювачам компенсаційного (ППерКК) та оптичного (ППерОК) каналів здійснюється перетворення вхідних сигналів струмів до напруг. Режим роботи ППіК задається від сигналів керування завдяки комутаторам СКК₁ або СКК₂, що надходять подаються

синхронно з СК1 або СК2. У першому випадку під час подачі сигналів керування СК₁ і СКК₁ комутуються контакти 1 – 3 і 2 – 5, що забезпечується з'єднання ППерКК з попереднім підсилювачем компенсаційного каналу (ППКК₁) і ППерОК з попереднім підсилювачем оптичного каналу (ППОК₁). У другому випадку під час подачі сигналів керування СК₂ і СКК₂ комутуються контакти 1 – 4 і 2 – 6. Це забезпечується з'єднання ППерКК з ППКК₂ та ППерОК з ППОК₂.

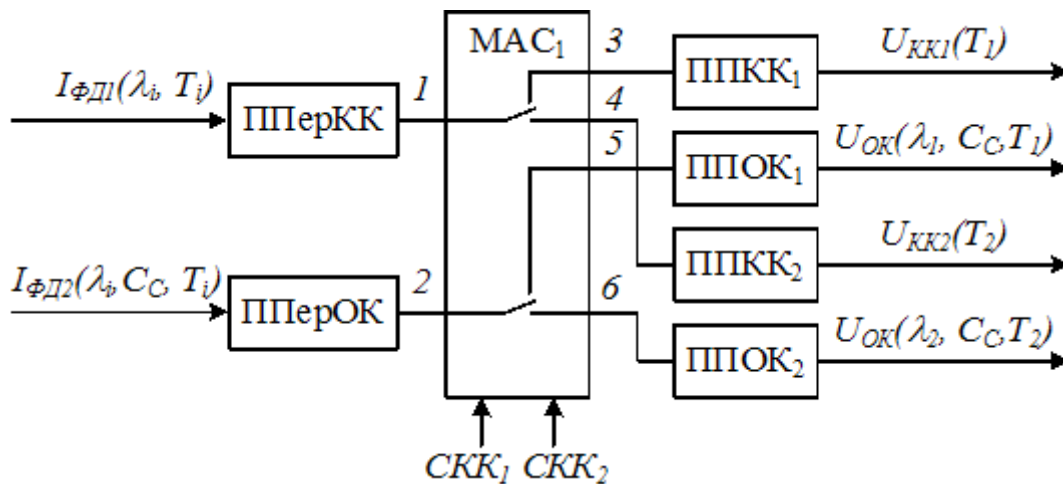


Рисунок 4.3 – Схема структурна схема блока ППіК

У блоці температурної компенсації (ТК), що є парою диференціальних підсилювачів, здійснюється віднімання вихідних сигналів ППКК₁ з ППОК₁ та ППКК₂ з ППОК₂. Різницеві сигнали вимірювача на виході блоку ТК мають інформацію щодо зміни концентрації вугільного пилу C_C у ВОК без температурного дрейфу. З допомогою блок підсилення і масштабування інформаційних сигналів (ПМІС₁) (див. рис. 4.2), виконується приведення вихідні сигнали з ТК до уніфікованого типу напруг від 0 до 5 В, що здійснюється для подальшої обробки в цифровому блоці підсистеми.

Схему структурну блоків драйверів ДР₁ та ДР₂ керування режимами роботи ДВ₁ і ДВ₂ оптичного вимірювача концентрації вугільного пилу наведено на рис. 4.4. До складу блоків ДР входять схем живлення СЖ_і, що здійснюють комутацію електронними ключами К_і з ДВ_і – СВД мають опорні джерела

стабілізованих напруг (ДОН_i). Драйвера ДР_1 і ДР_2 живляться від загального джерела живлення (ДЖ).

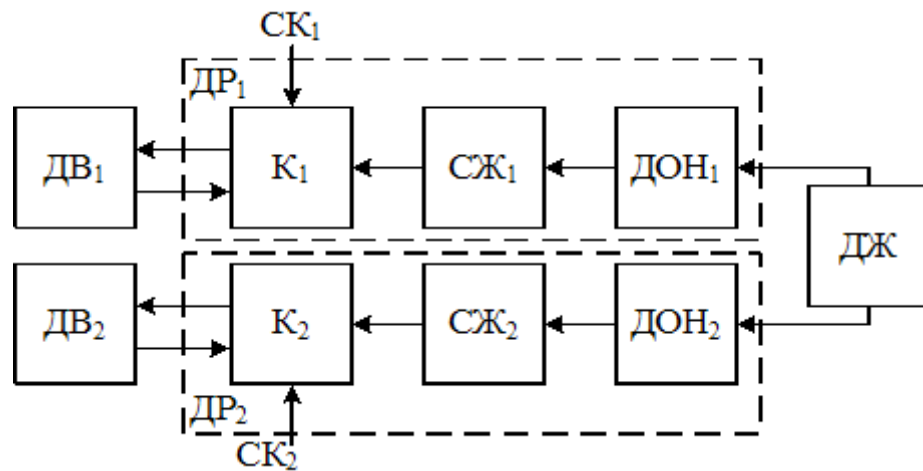


Рисунок 4.4 – Схема структурна блоків драйверів, які керують режимами роботи ДВ_1 і ДВ_2

До складу підсистеми вимірювання концентрації пилу входить вимірювач запилення стекол. Цей вимірювач розташований безпосередньо в оптико-електронному блоці вимірювача концентрації пилу (див. рис. 4.2). Вимірювач запилення стекол складається із дзеркала 2, завдяки якому частина основного потоку випромінювання надходить через оглядове скло до вікна ФП_3 , я якості якого використовується ФД типу BPW21R. Поглинання пилом випромінювання збільшується зі зростанням запилення оптичних компонентів, величина вихідного сигналу ФП_3 пропорційно зменшується зі збільшенням осадження пилу на них $C_{\text{пок}}$. Блок ПМІС₂ здійснює попереднє перетворення, підсилення, а також масштабування вихідного сигналу ФП_3 , який має інформацію щодо ступеня запилення оглядових стекол. Цей сигнал перетворюється до цифрового коду. Під час використання алгоритму обробки результатів вимірювання концентрації пилу з обліком значень запилення оптичних компонентів компенсується величина додаткової похибки від запилення, яка має місце в результатах вимірювання концентрації вугільного пилу.

Для розрахунку меж вибуховості вугільного пилу в складу вимірювача

використано підсистему вимірювання концентрації метану (6) й вологості повітря (7). На базі виконаних досліджень НМВ пилу в залежності від концентрації метану в суміші повітря та пилу до підсистеми вимірювання концентрації метану накладаються такі вимоги:

- діапазон зміни вихідної напруги, В від 0 до 5;
- діапазон вимірювання концентрації метану, $\text{об.}\%$ від 0 до 4;
- швидкодія вимірювача, с не більше 0,1;
- діапазон зміни температури, $^{\circ}\text{C}$ від +5 до +35;
- до складу підсистеми вимірювання концентрації метану повинні входити апаратні засоби для компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу, також виконувати корекцію результатів вимірювання під час зростання додаткової похибки, яка обумовлена запиленням первинного вимірювального перетворювача.

Після одержання необхідної інформації від підсистем вимірювання об'ємної концентрації метану, температури та вологості повітря в мікроконтролері розраховується НМВ вугільному пилу. Зміни результатів вимірювань, а також розрахунків накопичується у пам'яті МК. Після завершення кожного циклу вимірювань та здійснення обробки даних, результати надходять каналами зв'язку до диспетчерського пункту системи АГЗ, де плануються та вживаються різні заходи подальшої роботі пристроїв і механізмів у гірничих виробках.

4.2 Розробка алгоритмічного забезпечення ІВС концентрації пилу

Алгоритм функціонування вимірювача (див. рис. 4.5) представлений шістьма блоками, що виконують наступні операції:

- ініціалізація апаратних модулів і засобів, які підключаються до вимірювача концентрації пилу (блок 1);
- здійснення тесту лінії зв'язку для організації обміну даними протоколом

RS-485 між пунктом керування системою АГЗ (блок 2). Після завершення тестування встановлюється прапор ознаки успішності з'єднання – 1, інакше – 0;

– перевірка прапора, якщо зв'язок встановлено (блок 3), якщо з'єднання встановлено, то виконується основний цикл роботи програми (блок 4), якщо ні – здійснюється діагностика несправностей апаратури або лінії зв'язку, та генеруються коду помилок (блок 6);



Рисунок 4.5 – Алгоритм роботи вимірювача концентрації пилю

– після роботи основного циклу програми виконується перевірка наявності команди остану роботи вимірювача (блок 5): якщо вона є, то здійснюється зупинка роботи вимірювача, якщо команди немає – алгоритм

повторюють з блоку 2 і так далі.

Алгоритм основного циклу роботи вимірювача концентрації пилу наведено на рис. 4.6:

- протягом циклу (блок 1) по черзі подаються сигнали керування $СК_i$ драйверами $ДР_i$ та комутатором МАС $СКК_i$ (блок 2), виконується опитування каналів вимірювача концентрації вугільного пилу (ВКП), аналого-цифрове перетворення вихідних напруг $U_1(\lambda_1, C_C)$ і $U_2(\lambda_2, C_C)$ у цифрові коди $CODE10_1(\lambda_1, C_C)$ і $CODE10_2(\lambda_2, C_C)$ (блок 3);

- на базі експериментальних даних щодо зміни концентрації вугільного пилу у підпрограмі (блок 4) визначаються коефіцієнти функції розподілу, за середнім об'ємно-поверхневим діаметром частинок D_{32} , а також здійснюється перерахунок з об'ємної до масової концентрації пилу C_C ;

- виконується опитування каналу вимірювального контролю запилення оптики (ВЗО), АЦП вихідної напруги $U_3(C_{Пок})$ цього каналу до цифрового коду $CODE10_3(C_{Пок})$, а також запуск компенсації величини додаткової похибки від зміни запиленням оптичних компонентів (блок 5);

- здійснюється опитування вимірювальних каналів вологості повітря (ВВП) та концентрації метану (ВКМ), АЦП вихідних напруг у цифрові коди $CODE10_5(\gamma_B)$ і $CODE10_4(C_{CH4})$, а також розрахунок на їх основі значення HMB вугільного пилу C_{HMB} (1.6) (блок 6);

- визначення ймовірності настання вибухонебезпечної ситуації у вугільній шахті (блок 7): якщо значення концентрації пилу $C_C < C_{HMB}$, то маловірогідне настання вибухонебезпечної ситуації; якщо $C_C \geq C_{HMB}$, то є вірогідність виникнення вибуху газової суміші з пилом, при цьому необхідно застосування заходів щодо запобігання небезпеці (блок 12);

- запис вимірювальних результатів до пам'яті даних (блок 8).

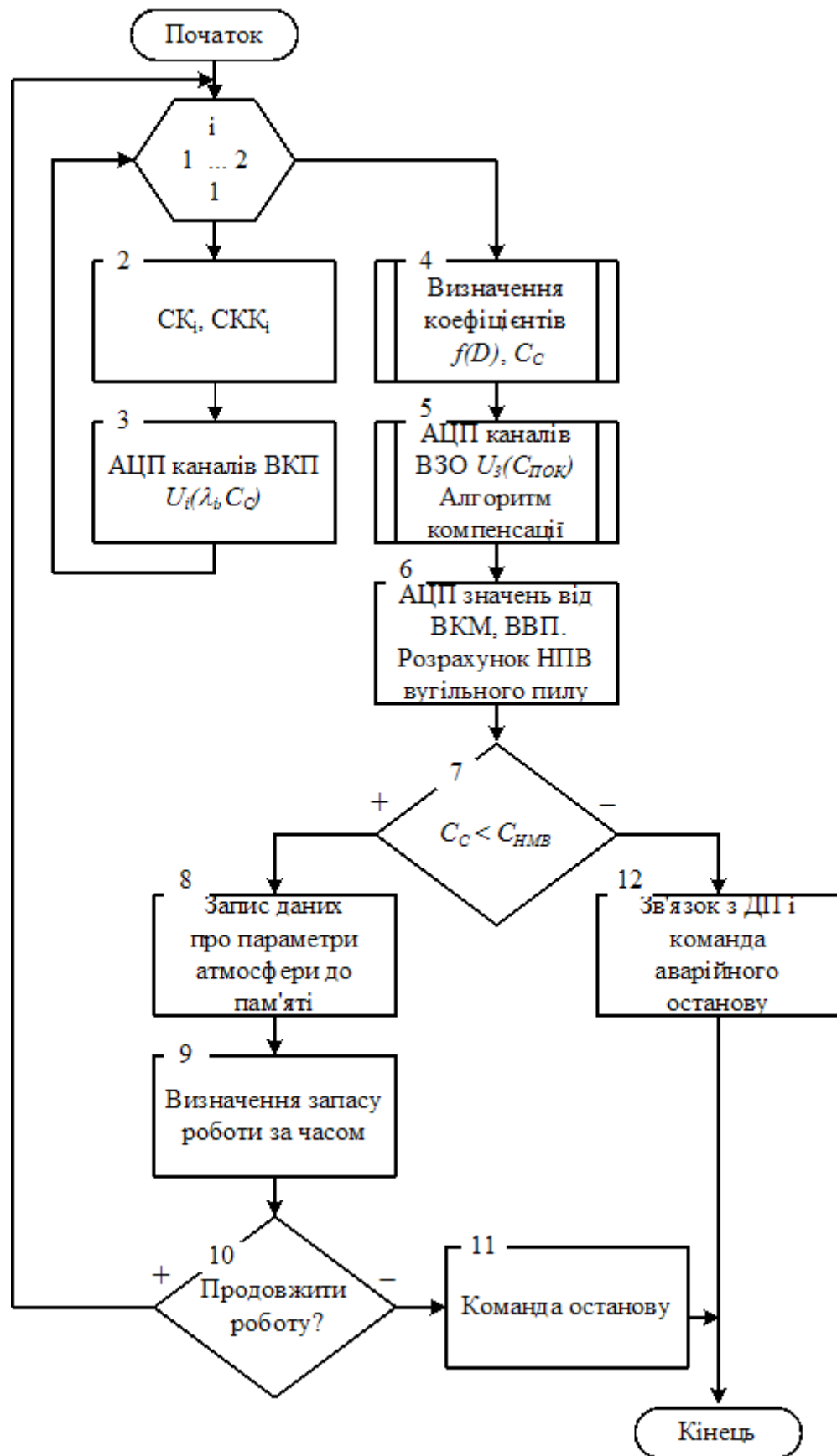


Рисунок 4.6 – Алгоритму основного циклу роботи вимірювача концентрації пилу

Якщо вірогідність вибуху низька, то вимірювач концентрації пилу продовжує працювати: визначається на основі попередніх і поточних значень вимірювання динаміки зміни параметрів газової суміші з пилом. Також визначається запас часу для роботи устаткування в гірничих виробках і працівників до настання вибухонебезпечної ситуації (блок 9). Блоки 10 і 11 мають умову для виходу з основного циклу та (або) завершення (продовження) роботи вимірювача концентрації вугільного пилу.

Алгоритм розрахунку коефіцієнтів функції розподілу та концентрації вугільного пилу наведено на рис. 4.7. Спочатку здійснюється введення цифрових кодів $CODE10_1(\lambda_1, C_C)$ і $CODE10_2(\lambda_2, C_C)$. Ці коди є еквівалентами значень вихідних напруг каналів вимірювача концентрації вугільного пилу (блок 1). Потім визначається експериментальне значення щодо відношення коефіцієнтів спектральної прозорості на двох різних довжинах хвиль випромінювань – $k_{експ}$ (блок 2).

Методом покоординатного спуску (блоки 3, 4), який здійснюється в циклі, виконується перебирання значень коефіцієнтів b і β функції розподілу $f(D)$. Це перебирання виконується від мінімальних $b_{\min}$, $\beta_{\min}$ до максимальних $b_{\max}$, $\beta_{\max}$ значень з кроками Δb і $\Delta \beta$. На кожному з цих кроків ітераційного циклу визначається в підпрограмах:

- значення коефіцієнта $a_{b,\beta}$ та функції розподілу $f(D)$ (блок 5);
- визначається спектральний показник ослаблення, а також теоретичне значення (3.3) відношення коефіцієнтів спектральної прозорості на двох різних довжинах хвиль випромінювань – $k_{теор}$ (блок 6);
- відхилення $\Delta_{b,\beta}$ теоретичного ($k_{теор}$) від експериментального ($k_{експ}$) значення коефіцієнтів спектральної прозорості (блок 7).

Якщо досягнуто задану точність ($\Delta_{\min}$) (блок 8), то здійснюється вихід з циклу визначення коефіцієнтів функції розподілу та виконується перерахунок з об'ємної в масову концентрацію вугільного пилу (блок 9).

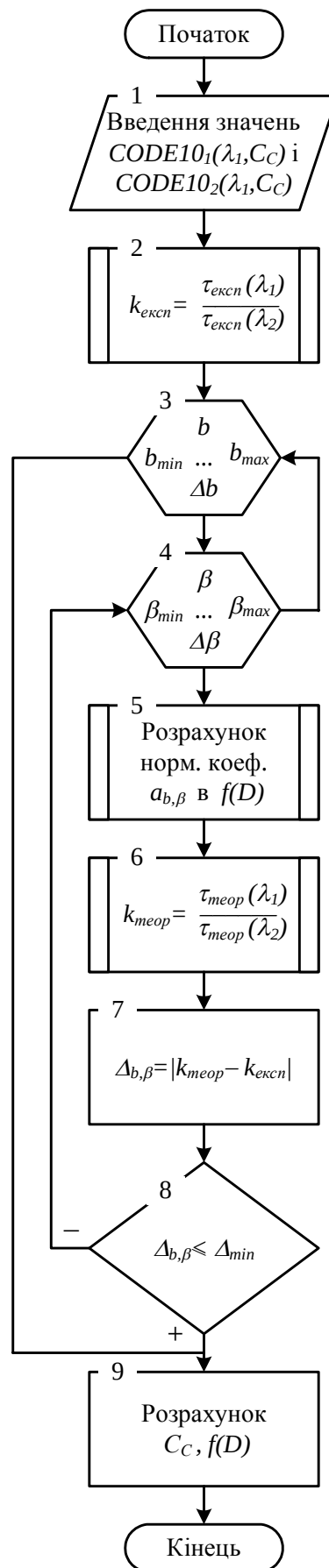


Рисунок 4.7 – Алгоритм визначення коефіцієнтів функції розподілу частинок вугільного пилу за дисперсністю

Алгоритм вимірювання й компенсації запилення оптичних компонент вимірювача наведено на рис. 4.8. Його робота починається з введення цифрового еквівалента ($CODE10_3(C_{Пок})$) значення вихідної напруги вимірювального каналу запилення. Також до початку роботи необхідно визначити значення коефіцієнта пропускання $T_{ПР\text{поч}}$ оптичного випромінювання оглядовими стеклами (блок 1), що захищають елементи оптики вимірювача концентрації пилу. Наступний крок алгоритму (блок 2) розраховує значення поточного коефіцієнта пропускання оптичного випромінювання через оглядові стекла – $T_{ПР}(C_{Пок})$.

Після визначення відношення коефіцієнтів пропускання $k = T_{ПР\text{поч}} / T_{ПР}(C_{Пок})$ (блок 3) здійснюється генерування рішень щодо запилення оптики (блок 4). Якщо $k = 1$, то оптичні компоненти не запилені, а здійснення компенсації не потрібно.

Якщо $k \neq 1$, то здійснюється пошук найближчого відомого значення відношення коефіцієнтів пропускання (блоки 6, 7, 10). У відповідності з цим коефіцієнтом збільшується m_i (блок 8) рівень сигналів керування СК_i (блок 9), що дозволяє підвищити інтенсивності випромінювань СВД ДВ₁ і ДВ₂ до необхідних значень. Ці значення забезпечують потрібний рівень сигналу ФД оптичного випромінювання в ВОК та компенсують запилення оптичних компонентів вимірювача концентрації вугільного пилу.

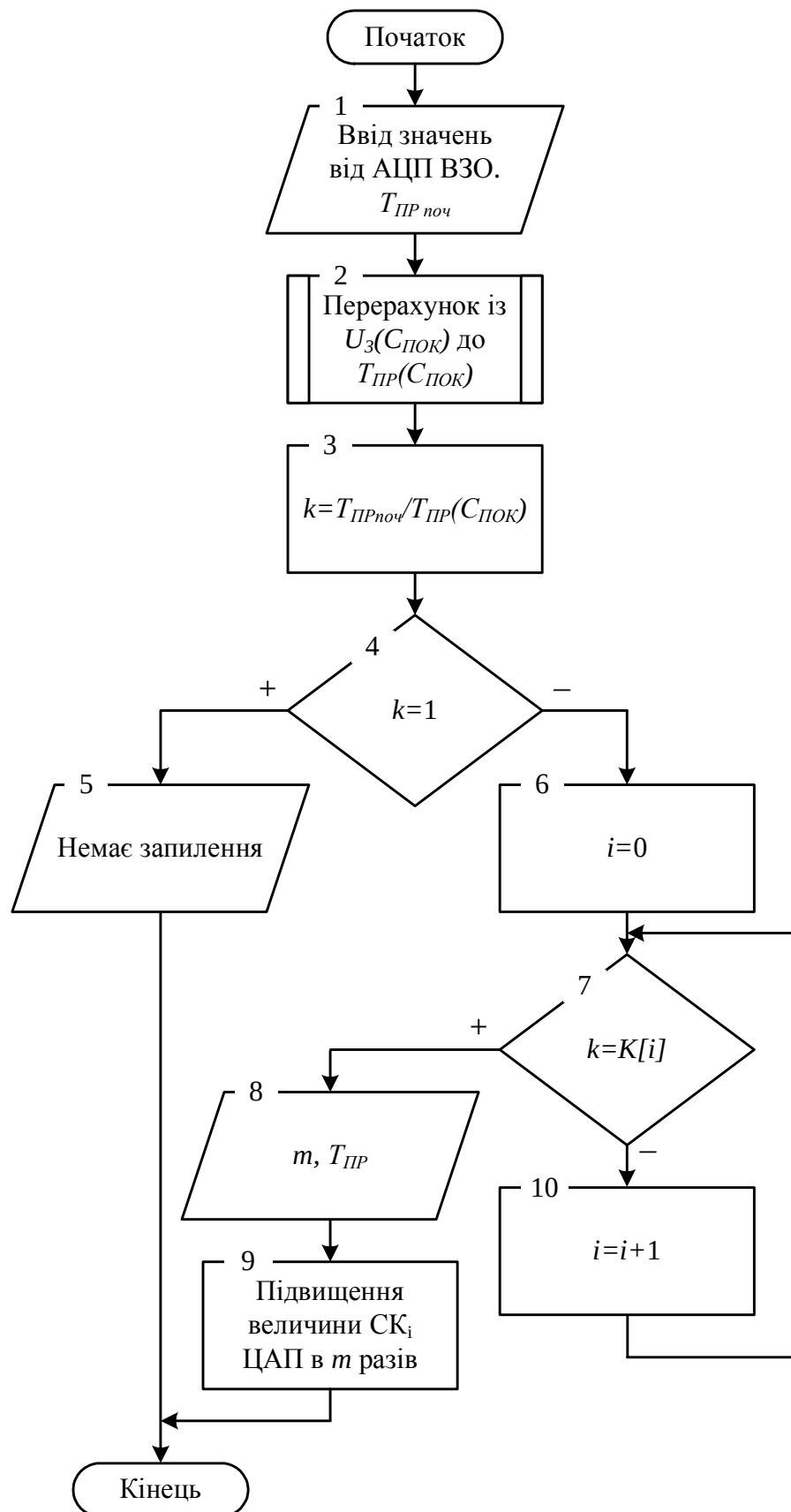


Рисунок 4.8 – Алгоритм компенсації запилення оптичних компонентів вимірювача концентрації пилу

4.3 Висновки

На базі аналізу вимог, що поставлено до вимірювача концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт, визначені його базові функції. Ці функції засобів вимірювача концентрації пилу, а також урахування всіх зв'язків між ними дозволило виконати об'єднання їх до системи. Розроблена система має статус підсистеми телекомунікаційного комплексу аерогазового захисту вугільної шахти.

Здійснено структурно-алгоритмічний синтез вимірювача концентрації вугільного пилу. Виконано опис структурних блоків його апаратних засобів, розроблені та реалізовані алгоритми й підпрограми функціонування.

ВИСНОВКИ

На основі виконаного аналізу фізичних та фізико-хімічних властивостей компонентів, що є в наявності атмосфери вугільних шахт, встановлені їх концентраційні нижні межі вибуховості. Так, для метану діапазон концентрації складає від 4 до 6 $\text{об.}\%$, а для вугільного пилу – від 3 до 45 г/м^3 . Одержала подальший розвиток модель, яка базується на емпіричних даних МакНДІ. Використання цієї моделі дозволив встановити вибухонебезпечні концентраційні межі складових газової суміші з пилом: вугільний пилу, який зважений в повітрі (від 0 до 3 г/м^3) в залежності виходу летючих (40 ÷ 47 %), зольності (до 15 %), а також вологості повітря (від 0 до 10 г/м^3), під час наявності концентрації метану (0 ÷ 4 $\text{об.}\%$) та дисперсності частинок вугільного пилу (від 1 до 10 $\mu\text{м}$).

Виконаний аналіз характеристик і параметрів наявних існуючі методів вимірювання концентрації вугільного пилу, який зважено в повітрі. Під час аналізу встановлено, що найкращим для автоматизації вимірювального контролю є оптичний метод. Його характеристики і параметри повністю задовольняють сучасним вимогам як за швидкодією, так і за необхідними показниками точності вимірювального контролю. Оптичний метод покладений в основу розробки вимірювача концентрації пилу. Для зниження впливу зміни дестабілізуючих факторів необхідно розробити способи та засоби, що дозволять підвищити метрологічні характеристик оптичного вимірювача концентрації пилу.

Обґрунтовано вимоги до вимірювача концентрації пилу: значення швидкодії вимірювача не повинно перевищувати 0,5 с у діапазоні зміни концентрації від 0 до 3 г/м^3 , якщо дисперсність частинок вугільного пилу складає від 1 до 10 $\mu\text{м}$.

Для забезпечення необхідної точності вимірювання концентрації вугільного пилу з дисперсністю розроблений двоканальний оптичний спосіб.

Під час його реалізації обґрунтовані вимоги до вибору СВД типу C503-BAN з $\lambda_1 = 0,47$ мкм та C503-RAN – $\lambda_2 = 0,624$ мкм.

Розраховані характеристики перетворення оптичного вимірювача двох відкритих оптичних каналів з довжиною траси 135 мм та визначені додаткові нелінійні адитивні складові похибки вимірювання концентрації пилу, які обумовлено зміною температури, значення яких складають для СВД₁ C503-BAN $\Delta_{C_c}(T) = 0,384$ г/м³ та СВД₂ C503-RAN – $\Delta_{C_c}(T) = 0,151$ г/м³.

Розроблений метод апаратної компенсації дрейфу вихідного сигналу вимірювача від зміни температури, який використовує додатковий закритий оптичний канал.

Для збільшення ступеня захисту оптичних елементів від запилення пропонується разом з автоматичною корекцією застосовувати пилозахисні бленди, які мають конусні кільця.

На базі аналізу вимог, що поставлено до вимірювача концентрації вугільного пилу в атмосфері шахт, визначені його базові функції. Ці функції засобів вимірювача концентрації пилу, а також урахування всіх зв'язків між ними дозволило виконати об'єднання їх до системи. Розроблена система має статус підсистеми телекомунікаційного комплексу аерогазового захисту вугільної шахти.

Здійснено структурно-алгоритмічний синтез вимірювача концентрації вугільного пилу. Виконано опис структурних блоків його апаратних засобів, розроблені та реалізовані алгоритми й підпрограми функціонування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айруни, А.Т. Взрывоопасность угольных шахт / А.Т. Айруни, Ф.С. Клебанов, О.В. Смирнов. – М.: Горное дело, 2011. – 264 с.
2. Умнов, А.Е. Предупреждение и локализация взрывов в подземных условиях / А.Е. Умнов, А.С. Голик, Д.Ю. Палеев и др. – М.:Недра, 1990. – 286 с.
3. Ємець, О.В. Генезис вугільних газів з відкладів карбону території шахти ім. А.Ф. Засядько (Донбас) / О.В. Ємець, І.П. Лугова, В.О. Канін и др. // Доповіді НАН України. Київ, 2008. – Випуск №4. – С. 120 – 124
4. Азаров, Н.Я. Возможности системы УТАС для диагностики аварийных ситуаций по газовому фактору / Н.Я. Азаров, А.В. Анциферов, М.Г. Тиркель, и др. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Донецьк, 2009. – Випуск № 5. – С. 503 – 512.
5. Козлюк, А.И. Борьба с самовозгоранием угля на шахтах / А.И. Козлюк, Н.В. Каледин, В.Я. Альперович. – Донецк: Донбасс, 1982. – 120 с.
6. Костенко, В.К. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах: монография / В.К. Костенко, Ю.Ф. Булгаков, С.В. Подкопаев. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 253 с.
7. Шевцов, Н.Р. Взрывозащита горных выработок при их строительстве: учебное пособие / Н.Р. Шевцов. – Донецк: Новый мир, 1998. – 328 с.
8. Мясников, А.А. Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.А. Мясников, С.П. Старков, В.И. Чикунов. – М.: Недрa, 1985. – 205 с.
9. Большинский, М.И. Газодинамические явления в шахтах: монография / М.И. Большинский, Б.А. Лысиков, А.А. Каплюхин. – Севастополь: Вебер, 2003. – 284 с.
10. Щербань, А.Н. Методы и средства контроля рудничного газа (метана) / А.Н. Щербань, Н.И. Фурман. – К.: Наукова думка, 1985. – 412 с.
11. Аналитическая химия: учебник: в 2-х кн., кн. 2: Физико-химические методы анализа / Под. ред. В.П. Васильева. – [5-е изд., стер.]. – М.: Дрофа,

2005. – 383 с.

12. Айруни, А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах / А.Т. Айруни. – М: Недра, 1981. – 335 с.

13. 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.

14. Малышев, Ю.Н. Фундаментально прикладные методы решения проблем метана угольных пластов / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни. – М.: Издательство Академии горных наук, 2000. – 519 с.

15. Puchkov, L.A. Methane dynamics in coal mine gol area / L.A. Puchkov, N.O. Kaledina. – М.: MSMU, 1995. – 313 p.

16. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – [Действующий от 2009-02-01]. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.

17. Green, H. Particulate clouds: dusts, smoked and mists / H. Green, W. Lane. – London: Spon, 1964. – 428 pp.

18. Петрухин, П.М. Дисперсность шахтной пыли и отбор проб. Борьба с силикозом / П.М. Петрухин, С.И. Смолякова, В.З. Смоляков. – М.: Недра, 1974. – 284 с.

19. Петрухин, П.М. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / П.М. Петрухин, Г.С. Гродель, Н.И. Жилев. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М: Недра, 1981. – 271 с.

20. Архипов, В.А. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность: учебное пособие / В.А. Архипов, У.М. Шереметьева. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2007. – 136 с.

21. Хмелев, В.Н. Ультразвуковая коагуляция аэрозолей: монография / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, К.В. Шалунова и др. – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 241 с.

22. Колмогоров, А.Н. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении / А.Н. Колмогоров // Доклады

АН СССР. М. – Выпуск № 2, Т. XXXI, 1941. – С. 99 – 102.

23. Нецепляев, М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова и др. – М: Недра, 1992. – 298 с.

24. Кудряшов, В.В. Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха в шахтах / В.В. Кудряшов, Л.Д. Воронина, М.К. Шурипова и др. – М., Недра, 1979. – 240 с.

25. Сборник инструкций к правилам безопасности в угольных шахтах. Том 1. – К.: Мінпаливенерго, 2003. – 480 с.

26. Сенкус, В.В. Коэффициент взрывобезопасности угольной шахты / В.В. Сенкус, Б.М. Стефанюк, К.Д. Лукин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: Изд-во МГГУ, Выпуск №10. – 2008. – С. 23 – 27.

27. Перегуд, Е.А. Инструментальные методы контроля загрязнения атмосферы / Е.А. Перегуд, Д.О. Горелик. – Л.: Химия, 1981. – 384 с.

28. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: [стандарт Мінвуглепрому України; видання офіційне СОУ 10.1.00174088]. – Макіївка: МакНДІ, 2005. – 222 с.

29. Общие санитарно-гигиенические требования в воздухе рабочей зоны: ГОСТ 12.1.005-88. – [Действующий от 1989-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 50 с.

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

ДОДАТОК А – 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.

А.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:

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

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:

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

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:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

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:

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

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

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

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

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питома 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:

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

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.

А.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 виміральної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

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

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

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:

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