

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Охорона праці»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Александров С.М./

“ ____ ” ____ 2021 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка методу контролю інтенсивності пилевідкладення в гірничих виробках»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЦБзм-19

напряму _____ підготовки _____ (спеціальності)

263 _____ «Цивільна

безпека»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Шевцов С. О. _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф. ОП, к.пед.н., Костюченко М.П. _____

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент Шевцов С.О. _____

(підпис)

Покровськ – 2021

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет Гірничий
 Кафедра Охорона праці
 Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр
 Напрямок підготовки (спеціальність) 263 «Цивільна безпека»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
/Александров С.М.
 “___” _____ 2021 року

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

Шевцову Сергію Олеговичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка методу контролю інтенсивності пилевідкладення в гірничих виробках

керівник роботи Костюченко Михайло Петрович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом № _____ від “___” __ 2021 року

2. Строк подання студентом роботи

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ ПИЛОВИБУХО БЕЗПЕКУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК І МЕТОДИ ЇХ КОНТРОЛЮ	16.02.2021- 12.03.2021	
2	РОЗРОБКА МЕТОДУ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	14.03.2021- 02.04.2021	
3	РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ	03.04.2021- 16.04.2021	
4	ШАХТНЕ ВИПРОБУВАННЯ ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ ДІП-1	17.04.2021- 03.05.2021	
5	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ, ПІДГОТОВКА ДО ЗАХИСТУ	03.05.2021	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Шевцов С.О.
(прізвище та ініціали)

Костюченко М.П.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шевцов С.О. Розробка методу контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека». – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методу контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках.

Висока аварійність на вугільних шахтах є одним з основних факторів, що впливають на збільшення витрат виробництва і підвищення рівня травматизму. Найбільшу небезпеку становлять аварії, викликані вибухом метану і вугільного пилу. Участь у вибуху вугільного пилу на кілька порядків збільшує потужність вибуху газоповітряної суміші, що й обумовлює суттєве зростання останнім часом кількості загиблих гірників.

За основним параметром, що характеризує пиловибухобезпеки гірничої виробки, відноситься кількість незв'язаної і не нейтралізованої відкладся вугільного пилу в розрахунку на одиницю об'єму вироблення. В даний час контроль цього параметра здійснюється візуально або за наявності темних нальотів вугільного пилу поверх інертною, або по сдуваності пилу від повітряного поштовху (при гідропиловибухозахисту). Такий контроль носить суб'єктивний характер. Спроба здійснювати оцінку інтенсивності пиловідкладення за рівнем концентрації зваженої пилу не дала позитивних результатів.

Для підвищення рівня пиловибухозахисту необхідний об'єктивний інструментальний спосіб контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках, що характеризується високою оперативністю і невеликою трудомісткістю. Тому розробка методу дистанційного автоматизованого контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках вугільних шахт з передачею на поверхню інформації про наявність вибухонебезпечного відкладення пилу, що дозволяє приймати оперативні заходи при виявленні порушень пилового режиму, є актуальним завданням.

Ключові слова: пиловибухозахист, відкладення пилу, контроль, гірничі виробки, вибух вугільного пилу.

SUMMARY

Shevtsov SO Development of a method for controlling the intensity of dust deposition in mine workings / Graduation qualification work for the degree of "master" in the specialty 263 "Civil Security". - SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

Qualification work is devoted to the development of a method for controlling the intensity of dust deposition in mine workings.

High accident rates in coal mines are one of the main factors influencing the increase in production costs and the increase in the level of injuries. The greatest danger is caused by accidents caused by the explosion of methane and coal dust. Participation in the explosion of coal dust increases the power of the explosion of the gas-air mixture by several orders of magnitude, which causes a significant increase in the number of dead miners in recent years. The main parameter that characterizes the dust and explosion safety of mining, is the amount of unbound and non-neutralized deposited coal dust per unit volume of production. Currently, the control of this parameter is carried out visually or in the presence of dark plaques of coal dust on top of the inert, or the blown dust from the air shock (with hydraulic dust and explosion protection).

Such control is subjective. An attempt to estimate the intensity of dust deposition by the level of concentration of suspended dust did not give positive results. To increase the level of dust and explosion protection requires an objective instrumental method of controlling the intensity of dust in the mine workings, which is characterized by high efficiency and low complexity.

Therefore, the development of a method of remote automated control of dust intensity in mine workings of coal mines with the transfer to the surface of information about the presence of explosive dust deposits, which allows to take prompt action to detect violations of dust, is an urgent task.

Keywords: dust and explosion protection, dust deposits, control, mining, coal dust explosion.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ ПИЛОВИБУХО БЕЗПЕКУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК І МЕТОДИ ЇХ КОНТРОЛЮ.....	10
1.1 Основні чинники, які обумовлюють пеловибухобезпеку гірничих виробок.....	10
1.2 Способи і засоби контролю пеловибухобезпеки гірничих виробок.....	21
Висновки до розділу 1.....	36
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ.....	38
2.1 Методика визначення похибки рекомендованих нормативними документами методів вимірювання інтенсивності пиловідкладення.....	38
2.2 Дослідження процесів пиловідкладення в гірничих виробках та визначення оптимальних координат встановлення приймальної платформи датчика.....	43
2.2.1 Разрахунок коефіцієнта кореляції.....	46
2.2.2 Визначення експериментального коефіцієнта рівняння.....	47
Висновки до розділу 2.....	49
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ.....	51
3.1 Огляд раніше виконаних досліджень по створенню датчиків інтенсивності пиловідкладення.....	51
3.2 Розробка функціональної схеми і експериментального зразка датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках	62
3.2.1 Визначення метрологічних вимог до ДПП-1.....	64
Висновки до розділу 3.....	66
РОЗДІЛ 4. ШАХТНЕ ВИПРОБУВАННЯ ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ ДПП-1.....	67
4.1 Розробка технічних умов на датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.....	67
4.2 Розробка керівництва по експлуатації датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.....	70
4.3 Стендові випробування датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.....	72
4.3.1 Перевірка працездатності ДПП-1.....	76
4.3.2 Визначення похибки вимірювання ДПП-1.....	78
Висновки до розділу 4.....	90
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

ВСТУП

Висока аварійність на вугільних шахтах є одним з основних факторів, що впливають на збільшення витрат виробництва і підвищення рівня травматизму. Найбільшу небезпеку становлять аварії, викликані вибухом метану і вугільного пилу. Участь у вибуху вугільного пилу на кілька порядків збільшує потужність вибуху газоповітряної суміші, що й обумовлює суттєве зростання останнім часом кількості загиблих гірників.

За основним параметром, що характеризує пиловибухобезпеки гірничої виробки, відноситься кількість незв'язаної і не нейтралізованої відклався вугільного пилу в розрахунку на одиницю об'єму вироблення. В даний час контроль цього параметра здійснюється візуально або за наявності темних нальотів вугільного пилу поверх інертною, або по сдуваності пилу від повітряного поштовху (при гідропиловибухозахисту). Такий контроль носить суб'єктивний характер. Спроба здійснювати оцінку інтенсивності пиловідкладення за рівнем концентрації зваженої пилу не дала позитивних результатів.

Для підвищення рівня пиловибухозахисту необхідний об'єктивний інструментальний спосіб контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках, що характеризується високою оперативністю і невеликою трудомісткістю. Тому розробка методу дистанційного автоматизованого контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках вугільних шахт з передачею на поверхню інформації про наявність вибухонебезпечного відкладення пилу, що дозволяє приймати оперативні заходи при виявленні порушень пилового режиму, є актуальним завданням.

Метою роботи є встановлення основних факторів, що впливають на достовірність даних про інтенсивність накопичення пилу в гірничих виробках вугільних шахт для розробки методу дистанційного контролю інтенсивності пиловідкладення, що дозволяє підвищити безпеку праці гірників.

Ідея роботи полягає у використанні гравітаційного методу вимірювання поверхневої густини пилу для безперервного контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках вугільних шахт.

Методи дослідження включають в себе аналіз і узагальнення матеріалів літературних джерел, теорію подібності, математичне моделювання, методи статистичної обробки результатів експериментів, шахтні експерименти.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ ПЕЛЕВИБУХОБЕЗПЕКИ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК І МЕТОДИ ЇХ КОНТРОЛЮ

1.1. Основні чинники, які обумовлюють пилевибухобезпеку гірничих виробок

Статистичні показники аварійності і травматизму в сфері гірничого виробництва є основним об'єктивним фактором, який відображає стан промислової безпеки, тобто «Стан захищеності життєво важливих інтересів особистості і суспільства від аварій на небезпечних виробничих об'єктах і наслідків зазначених аварій». Відомості про травматизм включають в себе число смертельно травмованих працівників в одиничних і групових нещасних випадках (в абсолютних числах і в відношенні до обсягу видобутого вугілля), щорічне число аварій різних видів і ряд інших показників. Згідно проаналізованими джерелами [1,2,3,4,5] аварійність і травматизм у вугільній промисловості за останні роки (з 1993 по 2007pp) різко зріс коефіцієнт частоти травматизму зі смертельними наслідками, збільшившись в 4.1 рази, а вибухонебезпечність шахт знаходиться в зоні неприпустимого ризику.

Домінуючим травмуючим фактором на вугільних шахтах є вибухи газу і пилу [6,7,8,9]. Причому вибухи метано-повітряної суміші є «капсулем-детонатором», а вибуховою речовиною - вугільний пил, що накопичилася в гірничих виробках.

За минулий період істотно змінилася технологія підземного вуглевидобутку, негативно позначилася на факторах ризику вибухів вугільного пилу, про що свідчить ряд аварій з масовою загибеллю людей на шахтах пострадянського простору (шахта ім. О.Ф.Засядька – Україна, шахта Абайська "- Казахстан і ін.) що свідчить про потребу докорінної реконструкції протиаварійної стійкості вугільних підприємств.

Нормативна база, яка регламентує безпеку ведення гірничих робіт на вугільних шахтах по пилогазового фактору [10] базується на дослідженнях, виконаних в 50 - 60 роки минулого століття [11].

Як показує практика забезпечення надійного пиловиховозахисту - складна організаційно-технічна задача, вирішення якої залежить від об'єктивної оцінки факторів небезпеки вибуху, основними з яких є:

- нижня концентраційна межа вибуховості пилового аерозолі (НКМВ), що утворюється з виваженого і відкладеного пилу;
- способи і параметри профілактичних заходів, щодо попередження утворення вибухових концентрацій метану і аерозолі з відкладеного пилу;
- способи локалізації вибуху пилогазоповітряних сумішей у виробках;
- маса відкладеного пилу на одиницю поверхні виробки і гірничошахтного обладнання;

Нижня концентраційна межа вибуховості (НКМВ) пилу визначається як найменша концентрація вугільного пилу в атмосфері вироблення, при якій можливе виникнення вибуху. НКМВ вимірюється в грамах пилу на кубічний метр.

Методика визначення НКМВ пилу була запропонована Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК) [20]. Ця методика дозволяє визначати НКМВ сухого зваженого пилу, медіана ситового аналізу якої менше 63 мікрон.

Методика заснована на застосуванні випробувального стенду «сферична камера 20-1», виробництва фірми «Адольф Кюхнер АГ», Швейцарія. Основою випробувального стенду є сферична камера спалювання об'ємом 20 дм³, оснащена пристроєм займання з певною енергією. У камері створюється пилоповітряна суміш із заданими значеннями турбулізації і концентрації досліджуваної пилу. Вимірювальна система стенду дозволяє вимірювати тиск вибуху, а також максимальну швидкість наростання тиску вибуху пилу. Зміни тиску в камері реєструються двома пьезометрическими датчиками і передаються до керуючого комп'ютера.

Заміри НКМВ пилу виробляються при наступних параметрах:

- температура стінок: 20-25°C;
- тиск в камері спалювання перед запалюванням дорівнює атмосферному тиску;
- час відкриття спускного крана - 6,0 мс;

- пристроєм займання - хімічний ініціатор з енергією, в межах 3-5 кДж.

Сутність встановлення НКМВ полягає у визначенні максимальної концентрації пилу в камері, в перерахунку на 1 м³, при якій не відбувається вибух. Усередині камери спалюються пилоповітряні суміші з різною концентрацією пилу. В результаті вимірів встановлюється така концентрація пилу, при якій приріст тиску дорівнює нулю. Так як в камері тиск, пов'язаний з утворенням пилового аерозолі, дорівнює 0,5 бар, то вважається, що більш високий тиск є результатом вибухової спалювання пилу.

Якщо при першому вимірі тиск вибуху менше або дорівнює 0,5 бар, необхідно повторити замір при більш високій концентрації, яка доходить при багаторазовому підвищенні, до 10 г/м³. Якщо отримане при цьому тиск більше, ніж 0,5 бар, необхідно зменшувати концентрацію пилу в камері до тих пір, поки тиск вибуху не буде менше або дорівнювати 0,5 бар при трьох послідовних вимірах, вироблених при тій же концентрації пилу в камері.

НКМВ зваженої пилу 8ШН знаходиться між найвищою концентрацією 8, при якій тиск вибуху менше або дорівнює 0,5 бар в трьох послідовних дослідах, і найменшою концентрацією 82, при якій тиск більше 0,5 бар. НКМВ зваженої пилу знаходиться в межах 30-80 г / м³.

Нижній концентраційний межа вибуховості пилу - вельми показовий критерій для оцінки небезпеки вибухів пилу в заданому просторі. Це слід аналогією з НКМВ газів. Аналогія, однак, неповна [44] Якщо газ заповнює якийсь простір, то розподіл концентрації газу у всьому просторі є рівномірним. Якщо перевищується НКМВ, то виникнення вибуху є тільки питанням існування джерела займання. Інша працювати з пилом. У звичайних умовах, при веденні гірничих робіт, вибухова концентрація пилу не виникає. Людина не в змозі дихати, коли концентрація пилу в повітрі становить 5-10 г/м³, отже вона далека від кордону вибуховості. У промислових приміщеннях мова йде про пилу, що відклався, на горизонтальних поверхнях, в тому числі на обладнанні. Практично неможливо оцінити, коли і в яких умовах може утворитися вибухова концентрація пилу, що перевищує НКМВ. Можна тільки

оцінити номінально концентрацію пилу як кількість загальної маси пилу в приміщенні і обсяг приміщення. Звідси випливає, що масу пилу можна тільки грубо оцінити (якби вдалося всю пил змести, то логічно було б її прибрати, а не зважувати і потім знову розсипати). Немає ніякої впевненості, що пил після переходу в хмару рівномірно заповнить весь доступний простір (як газ). Імовірність виникнення порівняно рівномірної концентрації пилу існує щодо гірничих виробок, в яких пил осідає уздовж виробки і в разі виникнення повітряної хвилі може утворитися хмара, що заповнює весь поперечний переріз. Однак в сучасних шахтах перетину виробок дуже великі (більше 20 м) і рівномірний розподіл концентрації пилу малоймовірно. Тому НКМВ зваженої пилу не може трактуватися як вирішальний параметр при оцінці вибухонебезпечнеTM в гірничих виробках. При порівнянні вибуховості вугільних пилу, як і інших промислового пилу, досліджених на дослідній шахті «Барбара», НКМВ зваженої пилу не фігурує, так як його значення для оцінки реальної небезпеки невелика [20]

Для оцінки фактичної небезпеки виникнення вибуху була розроблена концепція мінімальної вибухової дози (МВД). Мінімальною вибуховою дозою вважається така кількість вибухової субстанції, вибух якої в просторі викликає зростання тиску $\Delta P = 5 \text{ кПа}$.

МВД вимірюється в сферичній камері об'ємом 20 дм, в якій значення дисперсності пилу, а також розташування джерела займання обрані таким чином, щоб забезпечити оптимальні умови для росту тиску, що виникає від спалювання мінімальної кількості пилу (на відміну від стандартизованих умов, які забезпечують однорідність пилоповітряних сумішей в камері). Енергія джерела займання становить 2-3 кДж. Номінальна концентрація пилу 5Н (маса пилу, поділена на обсяг камери), при якій тиск вибуху в камері перевищує величину 5 кПа, є шукана величина МВД. Виміри проводяться для такого діапазону номінальних концентрацій пилу, для якого тиск вибуху не перевищує 20% максимальної величини для даної пилу. Залежність тиску вибуху від концентрації пилу описує функція

$$P = a(\delta_H)^m.$$

Рідше для оцінки вибухонебезпечності застосовуються інші параметри:

- тиск вибуху P_m , показник вибуховості, рівний максимальну величину приросту тиску (віднесеної до тиску, наявного в резервуарі в момент займання), відповідному певній концентрації пилу в пилоповітряної суміші.
- максимальна швидкість зростання тиску вибуху, встановлена в сферичної камері об'ємом 20 дм, що відповідає певній концентрації пилу в пилоповітряної суміші, виражена в барах в секунду.
- час індукції t_H - час між початком займання і початком зростання тиску вибуху (пунктом перетину дотичної до кривої з віссю часу). Час індукції t_H функцією температури воспламенителя і концентрації пилу.

У 60-70 роках минулого століття в СРСР велися роботи по створенню приладів для визначення нижніх концентраційних меж вибуховості і мінімальної енергії запалювання - ПВП-1, ПВП-2 в МакНДІ, пеньки в ВостНІІ [45,46] Однак дослідження на цих стендах обмежувалися визначенням НКМЗ дв і норми осланцювання. Поряд з цим проведені дослідження у дослідній штольні МакНДІ на підставі яких одержано залежність НКМЗ відкладеного пилу [47].

$$\delta = A \exp \left[\frac{K_1}{V_r} - K_2 n \right], \text{г/м}^3 \quad (1.1)$$

де V_r – вихід летючих речовин, %;

n – зміст метана в виробці %;

A_1, K_j, K_2 – експериментальні коефіцієнти, які складають для експериментальної виробки відповідно: $A=25,08$; $K_j = 22,71$; $K_2= 0,69$.

Згідно вимог [10] для кожного пласта контрольні випробування на вибуховість їх пилу повинні проводитися один раз на рік для вугілля з виходом летких речовин 15% і більше і один раз в три роки для вугілля з виходом летких речовин менше 15%. Проведення контрольних випробувань з такою періодичністю

не дозволяє швидко виявляти зміни ступеня вибуховості пилу і, відповідно, своєчасно скорегувати строки виконання заходів по пиловибухозахисту.

Тому діючих Правил безпеки у вугільних шахтах (ПБ) та Інструкцією до ПБ [13] нижні межі вибуховості відкладеного пилу визначаються в лабораторних умовах по вибуховості пилового аерозолі або по номограмі, побудованої МакНДІ на підставі рівняння 1.2.

$$\delta = 133,2 \exp(-0,045V_r) + 3,5 \exp(-0,032V_r) A^c \quad (1.2)$$

де A^c - зміст золи у вугіллі в долях одиниці від концентрації пилу, %.

На підставі численних експериментальних досліджень (таблиця 1.2) побудована номограма за допомогою якої за фактичними даними технічного аналізу вугілля нижня межа вибуховості відкладеного пилу може бути визначений з відносною помилкою, що не перевищує $\pm 10\%$. Ця номограма увійшла в інструкцію щодо попередження та локалізації вибухів вугільного пилу [13].

Таблиця 1.1

Залежність нижньої межі вибуховості відкладеного вугільного пилу від виходу летючих речовин, зольності і вологості вугілля

$W^t, \%$	$V^d, \%$	V^{daf}	Нижня межа вибуховості відкладеного вугільного пилу, δ г/м ³
2,6	22,4	43,5	50
1,7	17,1	36,4	50
1,2	16,3	33,5	50
0,9	9,1	27,7	70
1,3	26,7	26,7	80
0,8	16,3	20,9	80
0,8	14,2	15,4	100
1,1	27,1	13,5	190

При застосуванні осланцювання ступінь вибуховості вугільного пилу практично не визначається, а оцінюється по мінімальній нормі негорючих речовин, що виключає вибуховість пилового аерозолі.

Отримання достовірних даних про нижні межі вибуховості вугільного пилу ускладнюється також відсутністю порядку їх визначення відповідно до вимоги § 293 ПБ.

Разом з тим, як показує досвід, для практичних цілей основне значення має нижній концентраційний межа вибуховості відкладеного пилу, що дозволяє обґрунтовано підійти до питання про періодичність застосування заходів щодо попередження вибухів пилу і тим самим різко скоротити витрати на їх виконання. Перевірка шахт Донбасу показала, що основним заходом щодо попередження вибухів вугільного пилу все ще залишається сланцевий пиловибухозахист.

При високій інтенсивності пиленакоплення практично в будь-який момент часу поверх інертного пилу накопичується шар вугільного пилу. У цих умовах вибухозахисні властивості інертного пилу різко знижуються, а в разі накопичення вибухонебезпечної кількості вугільного пилу повністю анулюються [49]

Масове застосування інертного пилу в шахтах в значній мірі збільшує загальну запиленість повітря до шкідливих для дихання людини значень і тим самим підсилює сілікозоопасність атмосфери гірничих виробок. Так, при пересуванні людей по осланцьованого виробках запиленість повітря становить 240 - 300 мг/м, а в процесі осланцювання і обмітання виробок сягає 2000 - 6000 мг/м, що в сотні разів вище гранично допустимих концентрацій (ГДК). Навіть при відсутності пересування людей і транспорту запиленість повітря в осланцьованого виробках при швидкості руху повітря більше 2 м/сек досягає 20-50 мг/м.

Середньозмінні концентрації пилу по всій мережі гірничих виробок і особливо в робочих зонах значно вище ГДК. У цих умовах у відповідності до вимог СанПіН 2.2.3.50-96 повинні контролюватися індивідуальні пилові навантаження, а замість цього ступінь пилеопасності оцінюється технічно досяжними рівнями (ТДУ), які при контрольних перевірках виявляються вищими фактичних рівнів запиленості (див. Довідку № 142/1 від 29 квітня 2008 року Управління з технологічного та екологічного нагляду по Донецькій області). Це свідчить або про завищені ТДУ, або про низьку якість пилового контролю та контролю пиловибухобезпеки.

Результати візуальних спостережень і лабораторних випробувань набраних проб показали, що всі конвеєрні виробки перебували в пиловибухонебезпечного стані, незважаючи на те, що дуже трудомісткі для шахт заходи з осланцювання виробок проводилися.

В цілому заходи щодо попередження вибухів вугільного пилу, основані на застосуванні інертного пилу, малоефективні і в певних умовах не гарантують безпеки. Доказом цього є значна кількість вибухів, які мали місце в різних країнах світу на шахтах, де застосовувалася сланцева вибухозахист.

Недоліки, властиві цим способам, ще більше посилюються в сучасних шахтах з комплексом мокрих способів знепилювання, що супроводжуються різким підвищенням відносної вологості повітря в шахтах.

У місцях інтенсивного пиловідкладення пропонувалося попередження вибухів вугільного пилу способами, заснованими на використанні води замість сланцевої пилу. Ці рекомендації були обов'язковими в той час, коли навантаження на очисний вибій в більшості випадків не перевищували 500 т/добу. В сучасних шахтах навантаження на забій значно вище.

Рекомендовані для оцінки якості осланцювання прилади ПКП не можуть бути використані для контролю пиловибухобезпеки гірничих виробок шахт з інтенсивної вуглевидобутком, тому що не дають поточного фактичного накопичення вугільного пилу поверх сланцевої.

Одним з факторів, що обумовлюють пиловибухобезпеки гірничих виробок, є якість способів локалізації вибуху пилогазоповітряних сумішей у виробках. В даний час на більшості шахт України для локалізації вибухів застосовуються пасивні заслони, в яких в якості гасить матеріалу використовується інертний пил або вода. Вперше інертний пил була застосована на вугільних шахтах Німеччини в кінці XIX століття. В середині 60-х років XX століття на шахтах Німеччини застосування сланцевої захисту фактично було заборонено через її неефективність і значною шкідливості для здоров'я шахтарів.

Кількість гасить матеріалу в сланцевих заслонах приймається з умов гасіння найбільш сильних вибухів, і питома витрата інертного пилу визначається для найбільш вибухової вугільного пилу з вмістом летких речовин > 30%. Сланцеві заслони, що застосовуються на вугільних шахтах з моменту їх впровадження, практично не зазнали істотних змін.

Основна вимога до інертного пилу - здатність легко переходити у зважений стан після тривалого перебування у вологому атмосфері. Ця вимога згубно позначається на ефективності сланцевих заслонів, тобто зі збільшенням витрат повітря і перетинів виробок різко зростає локальна турбулентність вентиляційного струменя, яка обумовить винесення свіжої пилу з полиць, а при знаходженні в атмосфері з відносною вологістю більше 80% незважаючи на всі хитрощі пил злежується, що вимагає її частої заміни.

З метою збільшення терміну придатності допускалося полки заслону завантажувати розфасованої в мішки інертним пилом. Після аварії на шахті "Алмазна" ДП «Добропіллявугілля-видобуток» така заборона завантаження, так як сланцева пил не перейшла у зважений стан і залишилася в мішках, тобто заслони не виконали свої функції - не локалізовано вибух і допустили поширення його по мережі гірничих виробок.

Через характерній рисі пасивного сланцевого або водяного заслону, що представляє собою протяжне стаціонарне спорудження, що займає 20 ... 30 м вироблення, а також через невизначеність розташування, численності, рассредоточенности і відносної рухливості деяких джерел займання (розподільні пункти, електроприводи конвеєрів і перевантажувачів, сукупності машин і електроустаткування на сполученні гірничих вироблень і т.д.) локалізувати вибух ними практично неможливо [44,52]. Дослідження, виконані Головним інститутом гірничої справи (м.Катовіце, Польща) [20] і МакНДІ (м.Макіївка, Україна) [53] в експериментальних штольнях показали, що сланцевий заслін здатний зберігати свою ефективність при швидкості поширення полум'я до 200 м/сек., а водяний заслін до 280 м/сек при відповідній кількості інертного пилу або води в заслоні не

менше 400 кг (літр) на 1м поперечного перерізу виробки в просвіті в місці встановлення заслону, тобто пасивні заслони ефективні тільки при придушенні балансують і слабких вибухів.

Таким чином, пасивні заслони як громіздкі стаціонарні споруди не здатні локалізувати вибух у виробках з численними щодо рухливими потенційними джерелами займання через складність в виробничих умовах постійно підтримувати допустимі відстані їх установки. Крім того, надійність дії заслонів в допустимому діапазоні швидкостей горіння в значній мірі залежить від якості виготовлення і установки полиць, дотримання норм завантаження заслону інертним пилом або заповнення водою і збереження цих норм в процесі експлуатації. У шахтних умовах важко виконати ці норми, тому практика (на ділянці ВТБ шахти постійно ведеться "Книга контролю стану пилового режиму, частина II -" Заслони ") свідчить про повсякденний порушення діючих вимог. З наведених причин застосування, як водяних, так і сланцевих заслонів на практиці виявляється неефективним. Більш того, швидкості поширення ударної хвилі і фронту полум'я багато в чому залежать від маси пилу перейшла у зважений стан і ступеня турбулізації вентиляційного струменя. Обидва ці фактори в зв'язку з інтенсифікацією вуглевидобутку різко збільшилися, що в свою чергу, призвело до різкого збільшення енергії вибуху.

У цих умовах жоден заслін не може забезпечити локалізацію вибуху, оскільки $V \ll V_{TM}$ [54,55]. Тому тільки виконання вимоги дозволить виключити аварії I категорії.

$$PT \leq \delta_{opt}, \quad \frac{g}{m^3}$$

Інтенсивність пиловідкладення (P) по мережі гірничих виробок змінюється в широких межах: від часток грама до кількох кілограмів на 1 м обсягу вироблення на добу [47] Інтенсифікація і концентрація гірничих робіт пов'язана з різкою зміною факторів, що визначають інтенсивність пиловідкладення (швидкість руху повітря, концентрація пилу, збільшення машинного часу роботи і ін.). При

основному технологічному процесі тривалістю 2,0 - 3,0 години в зміну і комплексному гідрознепилення, запиленість повітря в робочій зоні становить 250 - 1100 мг / м, а в вихідному вентиляційному струмені 100 -370 мг/м [48].

При таких рівнях запиленості та витрати повітря через очисний вибір порядку 1500 - 2500 м/хв, інтенсивність накопичення пилу в прилеглих виробках становить 800 - 1500 г/м на добу. Для більшості гірничотехнічних умов шахт Донбасу при такій інтенсивності пиленаконення періодичність виконання робіт з попередження вибухів вугільного пилу складе $T \leq 0,010 \div 0,025$ доб. Тобто через кожні 15-30 хвилин роботи машин і механізмів необхідно проводити профілактичні вибухозахисні заходи.

Процес накопичення пилу в гірничих виробках носить випадковий або випадково-стаціонарний характер.

Це обумовлено нестаціонарністю процесів пилоутворення, виносу і поширення пилу, а також регіональної та локальної нестійкістю параметрів провітрювання гірничих виробок. Дослідження показали, що коефіцієнт варіації зваженої в повітрі пилу при сталих процесах вуглевидобутку може становити більше 50% [57,58].

У зв'язку з цією обставиною для підвищення рівня пиловибухозахисту необхідний об'єктивний інструментальний спосіб контролю пиловибухобезпеки виробок, що характеризується високою оперативністю і невеликою трудомісткістю. Найбільш прийнятним в цьому аспекті є метод дистанційного автоматизованого інструментального контролю інтенсивності пиловідкладення з можливістю визначення вибухонебезпечного відкладення пилу, що дозволяє виробити і прийняти оперативні заходи для нейтралізації порушень пилового режиму [56,58].

Пиловідкладення характеризується масою вугільного пилу:

осіла в одиниці об'єму гірничої виробки - P_y , г / м³;

осіла в одиницю часу в одиниці об'єму вироблення - P_0 , г/м³ на добу;

осіла на одиницю довжини вироблення - P_e , г / м;

осіла на одиницю поверхні виробки - P_s , г/м².

Абсолютні значення перерахованих вище характеристик пиловибухонебезпечного визначаються інтенсивністю пилоутворення і процесами перенесення пилового аерозолю по мережі гірничих виробок - тобто розподілом і осіданням частинок з пилових потоків.

Функція щільності розподілу пилу за розмірами в повітряному потоці залежить від багатьох факторів (швидкості і турбулізації потоку, дисперсності і заряду частинок пилу та ін.). Аналіз раніше виконаних досліджень [12] показав, що з віддаленням від джерела пилоутворення відбувається зміна функції розподілу від логнормального до нормальної. При цьому на початку медіанний розмір аерозолю збільшується (від 3мк до 11мк), а на значній відстані від джерела дещо стабілізується (вентиляційний штрек).

У конвеєрних виробках характер зміни дисперсності витає пилу в значній мірі буде залежати від співвідношення швидкостей руху стрічки і вентиляційного струменя, а також ступеня зволоженості транспортується гірської маси. Через локальної нестійкості і високого ступеня турбулізації вентиляційного струменя процес накопичення пилу носить випадковий характер.

Більш того, припущення про те, що пиловідкладення залежить виключно від дисперсного складу пилу в початковій точці, що створює можливості простим способом, виходячи з дисперсного складу і початкової концентрації пилу визначити пиловідкладення, не підтвердилися [14, 27].

Пиловідкладення є результат сумарного дії багатьох факторів, основними з яких є інтенсивність ведення гірничих робіт і параметри вентиляційного струменя. У сукупності це не дозволяє в більшості випадків ведення гірничих робіт визначити інтенсивність пиловідкладення зі зміни концентрації пилу в перерізі виробки.

Відповідно до «Інструкції ...» [13] оцінка стану пиловибухобезпеки повинна проводитися одним із таких способів:

зі зміни середньої в повітрі пилу за формулою 1.5:

$$P_0 = \frac{C_1 - C_2}{(l_2 - l_1) \cdot s \cdot t} \cdot q_v \cdot \frac{z}{m^3 \cdot \text{сут}}$$

за кількістю пилу, що відклався, на полиці (підкладки) за формулою 1.6:

$$P_i = 4,35 \frac{b \cdot M}{SFt} \cdot \frac{z}{m^3 \cdot \text{сут}}$$

де: C_1, C_2 - запиленість повітря відповідно в 1-м і 2-м заміряних перетинах, г / м³;

l_1, l_2 - відстань між замірний перетинами, м .;

q_v - кількість повітря, що пройшло через вироблення за час виміру;

b - ширина вироблення по ґрунті, м;

m - маса осілого пилу на підкладці, г;

F - сумарна площа підкладок, м²; t - тривалість виміру, доб.

Для кожного з цих способів в різних країнах світу використовувалися засоби контролю запиленості та пиловибухобезпеки гірничих виробок.

1.2. Способи і засоби контролю пиловибухобезпеки гірничих виробок

Нормативними документами [10,13] допускається до розробки спеціальних приладів і апаратури безперервного дії контроль пиловибухобезпеки гірничих виробок здійснювати візуальним і лабораторно-аналітичним способами.

Вироблення, в якій застосовується гідропиловихухозахист, вважається пилевзривоопасної, якщо в результаті огляду на боках, покрівлі, ґрунті та інших поверхнях буде виявлена суха вугільний пил або під дією повітряного струменя насоса (груші) буде з'являтися помітну хмару пилу.

Вироблення, в якій застосовується сланцевий пиловихухозахист, вважається пилевзривоопасної, якщо в ній поверх інертного пилу є відкладення вугільного пилу. Перевірка інертного пилу в заслін на злежуваність проводиться стисненням її в руці. Злежала інертний пил комкується і непридатна для пиловихухозахисту. Коли в результаті візуального огляду при будь-якому способі пиловихухозахисту

вироблення визнана вибухобезпечною, на ділянках інтенсивного пиловідкладення відбираються проби пилу для лабораторного аналізу в лабораторіях ДВГРС. Для забезпечення візуальних методів оцінки пилевзривовласності гірничих виробок застосовуються ручної поршневий насос НКП-1 і пневматична груша [15].

Для визначення величини пиловідкладення на спеціальні полиці (підкладки) в МакНДІ в п'ятдесяті роки був розроблений і випробуваний прилад, що працює на принципі відбитого радіоактивного випромінювання [11]. Інтенсивність відбитого випромінювання залежить від атомного числа матеріалу, на який подає випромінювання. У разі відкладення одного матеріалу на інший інтенсивність відбитого випромінювання змінюється пропорційно товщині шару покриває матеріалу. Метод не враховує пил, що осідає на бічні поверхні і покрівлю виробки, устаткування вироблення і т.д.

Для того, що б пов'язати точкові показання приладу із загальним пиловідкладення у виробленні потрібно вводити поправочні коефіцієнти, величини яких залежить від багатьох факторів і сама методика визначення яких на порядок складніше прямого методу - знепилювання осілого пилу. У формулі 1.4 використані значення коефіцієнтів, отриманих в 50-і роки минулого тисячоліття. Корінні зміни факторів, що визначають їх абсолютні значення, не дозволяють використовувати цей метод без спеціальних досліджень. Для забезпечення інструментального контролю наявності вибухонебезпечної кількості відкладся вугільного пилу в гірничих виробках ВостНП розроблена приставка до приладу ДПВ-1, принцип дії якої базується на зриві відкладеного пилу струменем повітря, що виходить з великою швидкістю з сопла, з подальшим засмоктуванням утворився запиленого повітря на фільтр, зняттям показань шкали і розрахунком величини пиловідкладення на одиницю поверхні [15].

До числа недоліків приладу ДПВ-1 з приставкою, є низька точність і наочність отриманих результатів, обумовлені вкрай малою площею контрольованої поверхні (15 мм), незручність маніпулювання приладом, відносно велика (до 5 хв) тривалість

і трудомісткість вимірів. Прилад в даний час промисловістю не випускається через зазначених недоліків, а також невирішеність питання метрологічного забезпечення.

На принциповій базі приладу ДПВ-1 ВостНІІ спільно з ВО «Старт» м Зарічний, Пензенської області, розробили переносні прилади контролю пилового режиму ППР-1 і ППР-2, що дозволяють визначати запиленість повітря (в тому числі по респірабельні фракціям), пиловідкладення, зміст негорючих речовин, швидкість осідання пилу, її дисперсний склад, процентний вміст негорючих речовин в пилоподібних сумішах [16]. За допомогою цих приладів безпосередньо в шахтах можна встановити комплексний показник пиловибухонебезпечного виробок Y , який визначається як відношення концентрації пилу C_v , яка може виникнути в повітрі при ініціюванні вибуху, до нижньої межі вибуховості відкладеного пилу

З урахуванням змісту води і домішок породної пилу:

$$Y = \frac{C_v}{\delta_{в.ст.}}$$

При цьому вироблення вважається пиловибухонебезпечного при $Y > 1$.

У приладах ППР-1 і ППР-2 здійснено автоматичний облік величини питомої поверхні пилу і вмісту золи. Перед вимірюванням в прилад вводиться програма з корекцією схеми в залежності від виходу летучих речовин пилу, вмісту метану в атмосфері, площі поперечного перерізу виробки. В процесі вимірювання за рахунок прийнятої швидкості відсмоктування враховується також ступінь пов'язаності пилу вологою. Одночасно з комплексним показником пиловибухобезпеки прилад дозволяє визначити пиловідкладення на стінці вироблення. При оснащенням спеціальним пристроєм, що дозволяє дозувати кількість подаваного обсягу пилу, приладом можна визначити зміст негорючих речовин. За даними випробувань, межі вимірювання негорючих речовин - (40 - 90)%. Тривалість вимірювання кожного з параметрів - 5 хв.

Гідність цих приладів - легкість і компактність, можливість визначення як пиловідкладення, так і змісту негорючих речовин в суміші вугільного і інертного пилу.

Недоліки - значна тривалість вимірів, мала представництво проби, оскільки поверхня її відбору залишилося такої ж, як у приладу ДПВ-1 (близько 15 мм); обмежений верхня межа вимірювання пиловідкладення (менше 99 г / м). Не вирішено також основний методичний питання про визначення можливої концентрації пилу в залежності від ініціатора вибуху, необхідний для визначення показника пиловибухобезпеки. Для контролю наявності вибухонебезпечного кількості відклався вугільного пилу в гірничих виробках МакНДІ (Україна) створено переносний радіоізотопний прилад КПР-1М [15,16].

Робота приладу КПР-1М заснована на вимірі потоку відбитого бета-випромінювання. Вимірювальна частина приладу складається з іонізаційної камери з джерелом бета-випромінювання, диференціальної схеми постійного струму і перетворювача напруги. Принцип дії приладу полягає в тому, що бета- частки, відбиті від породи, покритої вугільним пилом, або від суміші вугільного і інертного пилу, створюють в ионизационной камері струм, пропорційний товщині шару пилу або співвідношенню між негорючими і горючими речовинами в суміші. За допомогою цього приладу поряд з визначенням кількості відклався вугільного пилу можна встановити зольність осланцьованого пилу безпосередньо в гірничих виробках. Кількість осіла вугільного пилу вимірюють за допомогою підкладок (шматків породи). Для підкладок можуть бути взяті шматки будь-яких бічних порід, за винятком вапняку. При цьому поверхня підкладок не повинна мати вугільних включень. Її ретельно очищають щіткою від пилу і залишають для природничої освіти на ній пилового покриву. Після закінчення часу прилад встановлюють на контрольовану поверхню (підкладку). Обертанням ручки регуляторів «Установка номіналу» стрілку приладу встановлюють на «О» шкали «г / м² ». Струменем повітря гумової груші з контрольованої поверхні (з-під приладу) здувають вугільний пил і за шкалою « г / м² » беруть відлік величини пиловідкладення .

Зміст негорючих речовин в осланцьованого пилу за допомогою приладу КПР-1М визначають безпосередньо в гірничих виробках без лабораторної обробки проб. Для цього пристрій працювати встановлюють на касету, в яку вставляють одну з кювет, заповнену чистою інертним пилом, яка застосовується для осланцювання виробітку. Стрілка приладу поєднується з останніми розподілом шкали «100%», після чого кювету видаляють і замінюють на іншу, в якій знаходиться досліджувана проба осланцьованого пилу.

Якщо прилад показує вміст негорючих речовин менше встановленої норми осланцювання, вироблення вважають пиловибухонебезпечного.

Істотний недолік КПР-1М в порівнянні з сучасними приладами аналогічного призначення - відносно велика тривалість підготовки проби до вимірювання, що обумовлено складністю операції калібрування. Схемні і конструктивні рішення КПР-1М потребують вдосконалення. Подальші роботи по його вдосконаленню припинені.

У Польщі створено портативний аналізатор «Інфлабар» для швидкого визначення вмісту негорючих речовин в пробах пилу, відібраних з поверхні осланцьованого виробок [21]. Так само, як у КПР-1М, принцип цього приладу заснований на залежності інтенсивності розсіяного бета - випромінювання від концентрації важчих в порівнянні з вуглецем атомів, складових речовина породної пилу. Прилад масою 3 кг і розмірами 215x80x175 мм дозволяє за 30 сек визначити в пробі масою 25 г зміст негорючих речовин в діапазоні 50-100%. З одним зарядом акумуляторів можна без перезарядки виконати до 230 замірів.

Бета-промені від джерела випромінювання падають на пробу суміші вугільного і інертного пилу, що знаходиться в контейнері, і після відображення потрапляють в напівпровідниковий детектор, спеціально розроблений для цієї мети. Джерело випромінювання блокується з кришкою приладу таким чином, щоб оператор не опромінювався при заміні проби. Похибка вимірювання - не більше 3%. Основний вплив на величину похибки надають зміст в пробі вологи понад 5% і оксидів заліза. Для усунення впливу вологи пробу струшують силикогель протягом

3 хв. Крім того, для попередження агломерації пилу в приладі є акустичний вібратор. Прилад побудований на сучасній електронній базі.

Показання висвічуються на дисплеї, контрольованому декодером.

У МакНДІ розроблений і випробуваний радіоізотопний прилад для контролю якості осланцювання КОР-1, який відрізняється від «Інфлабара» та інших зарубіжних і вітчизняних аналогів більшою надійністю, простотою настройки і регулювання при збереженні компактності і точності [17, 18].

Конструктивно прилад КОР-1 виконаний у вигляді моноблока, в якому розміщені всі вузли і пристрої. На верхній панелі знаходяться тумблер включення живлення, кнопка «проба», а також цифровий індикатор. На задній стінці є проріз з направляючими для розміщення кювети з пробою. У макеті передбачено три відсіки: харчування, електронний і блоку детектування.

Останній екранований свинцевою оболонкою.

Налаштування приладу проводиться по еталонній мірою і по інертного пилу, використовуваної для сланцевання даної виробки, шляхом послідовного їх вимірювання до початку роботи і порівняння з випробуваними пробами. Еталонні заходи можуть бути виготовлені з фторопласту або вініпласту. Після настройки прилад встановлюють кювету з випробуваної пробою осланцюваного пилу. Кнопкою «проба» проводиться пуск ЕОМ в режимі накопичення, після закінчення якого виробляється обчислення змісту негорючих речовин в суміші вугільного і інертного пилу.

Час обчислення не перевищує 30с. Через 32с на індикаторі фіксується зміст негорючих речовин, яке зберігається до початку нового випробування. При утриманні негорючих речовин 70-100% похибка знаходиться в межах $\pm 3\%$, при його зниженні до 40% похибка досягає 7%. Діапазон вимірювання вмісту негорючих речовин 40-100%. Маса проби в кюветі 30-40м Напруга джерела живлення не більше 7В. Маса приладу не більше 2,5кг. Джерело випромінювання радіонуклід $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$. На поверхні доза випромінювання не перевищує 0,5 мР/год.

Гідність приладу - швидкодія при достатній точності в найбільш поширеному діапазоні вимірювань, недолік - непридатність для визначення кількості вугільного пилу, що осів поверх інертною, що не дозволяє з його допомогою вирішити однозначно питання про пиловибухобезпеки вироблення. В цьому відношенні він поступається своєму попередникові - приладу КПП-1, а також описаним вище приладом ПНР-1 і ППР-2.

Необхідно відзначити, що перелік переносних приладів для контролю пиловибухобезпеки виробок, розробка яких була доведена до серійного випуску або хоча б до стадії експериментальних зразків, на цьому обмежується.

З усіх приладів згаданого переліку в даний час промисловістю виготовляються (на замовлення) прилади ГТГТР-1 і ППР-2 (Росія), а також «Інфлабар» (Польща). Такий стан можна пояснити тією обставиною, що використання переносних приладів масою в 2,5кг для контролю 30-40км гірничих виробок однієї шахти, особливо з відбором проби - вельми трудомістка операція. Можна вважати, що такого типу переносні прилади можуть успішно використовуватися лише для періодичного інспекторського контролю, зокрема замість лабораторного аналізу і тільки при сланцевої пиловибухобезпеки гірничих виробок.

В останні роки намітилося напрям створення легких приладів типу індикаторів для щозмінного контролю стану виробок. До приладів такого типу можна віднести прилад «Рок дасть метер» (RDM) Гірського бюро США [19].

Принцип роботи приладу RDM заснований на реєстрації інтенсивності інфрачервоного випромінювання, відбитого від поверхні зразків, що складаються з суміші темної вугільної і світлої породної (інертною) пилу. Інтенсивність випромінювання тим вище, чим більше породної пилу в суміші. Джерелом інфрачервоного випромінювання в приладі служить фотодіод з арсеніду галію.

Відбите випромінювання фіксується напівпровідникових детектором, сигнал якого посилюється в операційному підсилювачі і перетворюється в цифровій формі. Проба пилу знаходиться на фіксованій відстані від випромінювача. Кварцеве вікно

діаметром 100 і товщиною 3,3 м прикладається впритул до пробі при легкому натисканні.

Прилад настраюється на «О» по чистій вугільної і на «100%» по чистій інертного пилу. У разі підвищеного вмісту вологи проба підсушується шляхом перемішування з вологи поглиначем і подальшого за цим просіювання. При утриманні породної пилу 40-85% відхилення показання приладу від даних, отриманих стандартним Термогравіметричним методом, не перевищує 3%.

Випробування приладу проведені тільки на пилу одного і того ж пласта.

Дослідження МакНДІ [20] показали, що в разі контролю вмісту негорючих речовин методом відбитого інфрачервоного випромінювання заважають чинники (наприклад, змінний дисперсний і хімічний склад вугільної пилі) вносячи похибка в визначення змісту негорючих речовин, що досягає 20% більше. Для зниження похибки потрібна індивідуальна градування для кожного шахтопласта, що істотно ускладнює практичне використання методу [18].

Практика створення переносних приладів для інструментального контролю наявності вибухонебезпечного відкладення вугільного пилу показали їх низьку надійність і непридатність застосування для визначення кількості вугільного пилу, що осів поверх інертною (при сланцевої захисту), що не дозволяє з їх допомогою вирішити однозначно питання про пиловиховобезпеки вироблення. Більш того, вони абсолютно непридатні при гідропиловиховобезпеки вугільних шахт [9].

Патентно-інформаційний пошук, проведений відповідно до затвердженого регламенту по Фондам Німеччини, Великобританії, Франції, США та Польщі, показав, що практично всі розробки спрямовані на контроль осіла вугільного пилу і вмісту в ній інертного пилу [16,15-23]. Жоден з існуючих і новостворюваних приладів не спрямований на визначення інтенсивності накопичення пилу.

В результаті аналізу отриманої інформації встановлено, що всі відомі способи контролю пиловиховобезпеки гірничих виробок засновані на вимірі процентного співвідношення вибухової і інертною частини пиловідкладення. Причому, всі вони ґрунтуються на непрямих методах вимірювання.

У зв'язку з відмовою в багатьох країнах від сланцевої пиловихузахисту і переходом на гідропиловихузахист, а також недоліками способу "збору пилу на підкладки", в багатьох країнах (Росія, Україна, Польща, Німеччина) ведуться роботи зі створення автоматичної системи з використанням датчиків контролю запиленості повітря з наступним перерахунком показань запиленості на можливі пилові відкладення по мережі виробок.

В останні роки намітилася тенденція створення системи дистанційного контролю запиленості рудникової атмосфери з передачею інформації на диспетчерський пункт шахти.

Така система повинна складатися з датчиків запиленості повітря, блоків збору і передачі інформації на диспетчерський пункт. Програмне забезпечення повинно проводити обробку і представлення результатів у читається і зрозумілою для диспетчера вигляді. Основним елементом цієї системи є датчик виміру запиленості повітря або відкладеного пилу.

Весь досвід пилового контролю у вугільних шахтах свідчить про те, що датчики запиленості в автоматичних системах можуть бути двох видів: оптичні або радіоізотопні [23, 24]

Традиційний радіоізотопний метод вимірювання заснований на поглинанні радіоактивного (альфа або бета) випромінювання пиловим осадом. З використанням цього методу був розроблений ряд радіоізотопних експрес-пилемери і станцій пилового контролю. Приз, ІКАР, РКП-5, ІКАР-ФБ-01, Прима – країни СНД; в США: Mass Monitor RDM-101, RDM-201, RDM-301; в Німеччині: Beta-Staubmetr, Staubmonitor, FH-62A, FH-62C; у Франції: MPS1-100 (Environnement); в Голландії: бета-монітор пилу мод. 9700 (Phillips); в Італії: MPS 100 (ELRKOS SpA) [24,25,26].

Однак всі вони мають недоліки, головним з яких є неможливість формування безперервного потоку точних і достовірних даних про поточну масової концентрації пилу [26]. Тому без істотної конструктивної і доопрацювання методу - поєднання в часі процедури відбору проби на фільтр і процедури вимірювання поверхневої

густини препарату на фільтрі - радіоізотопний метод не може бути використаний в системах безперервного контролю запиленості рудникової атмосфери [26,27].

Оптичний метод заснований на визначенні оптичної щільності або вимірі інтенсивності світла, розсіяного запилених повітрям [28]. Фізико-механічним інститутом ім. Г.В. Карпенко спільно з МакНДІ створена система оперативного автоматичного дистанційного контролю запиленості повітря (АДКЗ) на фотоелектричні принципи: фотодатчик фіксує зміна інтенсивності променя світла, що пройшло через запилене повітря при зміні концентрації пилу [29, 30, 31].

Апаратура АДКЗ складається з 16 датчиків, що встановлюються в гірничих виробках, двопровідних ліній зв'язку та поверхневого полукомплекта. Система АДКЗ забезпечує вимірювання концентрації пилу одночасно в 16 пунктах, передачу результатів вимірювань на поверхню і їх індикацію на екрані монітора або на цифровому табло.

Датчик концентрації перетворює світловий потік, розсіюється аерозолем в межах тілесного вугілля $(2-8)^\circ$, в імпульсний електричний сигнал змінної частоти, пропорційної концентрації загальної маси зваженої пилу. Датчик забезпечений пристроями, які запобігають оптичні вікна від забруднення пилом, в ньому передбачена стабілізація світлового потоку. Датчик має індикатор справності.

У 1986 р був виготовлений дослідний зразок системи. Після випробувань на шахті ім. А.Б. Батова ВО «Макіїввугілля» він рекомендований до серійного виробництва. Однак серійне виробництво цієї системи освоєно не було. В даний час ця система потребує докорінної переробки, так як вона не відповідає новим гігієнічним вимогам до підприємств вугільної промисловості, сучасному рівню пилеметрії. Принципова схема побудови не відповідає принципам побудови комп'ютерних систем моніторингу.

НВО «Червоний металіст» (м.Конотоп) спільно з інститутом «АВТОМАТУГЛЕРУДПРОМ», Дніпропетровським гірничим інститутом розробив оптичний датчик запиленості повітря ДЗВ-500 [32]. Датчик запиленості повітря ДЗВ-500 є стаціонарним автоматичним приладом для безперервного контролю

вмісту зваженої пилу в атмосфері і призначений для експлуатації на шахтах, небезпечних щодо вибуху метану і вугільного пилу.

Техническая характеристика датчика ДЗВ - 500

Диапазон измерения содержания пыли, мг/м		-
Основная относительная погрешность, %, не более		от 1,0 до 500
Время прогрева, мин, не более		-20,0
Индикация показаний		-20
Число разрядов цифровой индикации		- цифровая
Цена наименьшего разряда, мг/м		-3
Габаритные размеры, мм, не более	БОП	-1,0
длина	240	пли
ширина	100	185
высота	92	120
Масса, кг, не более	БОП	340
	1,8	ППИ
Потребляемая мощность, Вт. не более	2,0	3,5
Источник питания	от аппарата питания и управления АПУ(КРАУ)	
Принцип подачи контролируемой пробы	принудительный	

Датчики ДЗВ-500 можуть використовуватися в системах, аналогічних системі АДКЗ.

Для оперативного контролю запиленості повітря на шахтах, а також для вивчення короткострокових змін концентрації тонкого пилу Гірським науково-дослідним сообществом Німеччини спільно з інститутом ім.Баттел і фірмою «Ернст Лайтц Венцлар ГмбХ» створений цифровий оптичний тіндаллометр «ТМ-дігіталь» на принципі вимірювання інтенсивності світла. Прилад складається з відкритої циліндричної вимірювальної камери з первинним джерелом монохроматичного світла з довжиною хвилі 0,94 мкм і пристрої для прийому світлових променів, що розсіюються під кутом 70 °. У приладі застосований світлодіод, що випромінює імпульсні спалахи зі встановленою довжиною світлової хвилі, здатної відображатися тільки від частинок певного розміру. Відбиті промені потрапляють на фотоелемент і їх світловий потік пропорційний сумарній поверхні цих частинок, що

проходять через прилад. Прилад вимірює тонку пил (розміром менше 5 мкм), чутливість - 0,01 мг / м, максимальна концентрація - 100 мг / м. Він практично миттєво проводить вимірювання.

Показник вимірювання може видаватися у вигляді цифр на табло, або передаватися від аналого-цифрового перетворювача до самописця, інтегратора або Телевимірювальні пристрою для подальшої передачі (наприклад, на пульт диспетчера шахти).

На принципі «ТМ - дигіталь» створено кілька моделей портативних і стаціонарних приладів (Таблиця 1.3) [33, 34]

Таблиця 1.3

Технические характеристики измерителей пыли типа «ТМ-дигиталь»

параметры	ТМ - data ТМ digital mp	ТМ-М	ТМ-F
Диапазон измерений	0,01...50мг/м3	0...1 Мг/МJ 0...10мг/м3	0...2 мг/м3 0...20мг/м3
Диапазон размеров регистрируемых частиц	до 8 мкм	до 8 мкм	
Предел основной допускаемой основной относительной погрешности измерений при коэффициенте пересчета 0,6 %	±25	±25	+ 25
Линейность прибора	1%		1%
Температурная зависимость показаний прибора в диапазоне температур 10.. .40 °С	не более 5 %		не более 5 %
Рабочая температура	0...40°C	0...40°C	5...70°C
Выходной сигнал	0...4В, цифр.	4...20Ма	4...20Ма
	интерф. 0...4 В, аналог.	цифр, интерф.	
Габариты, мм	193x102x46	205x75x150	320x120x80
Масса, кг	0,980	1,0	3,0
Вид взрывозащиты	Exial	нет	нет
	Exial+ ExiaIICT4		

Фірмою «Хельмут Хунд ГмбХ» (Ветцлар, Німеччина) розроблений стаціонарний оптичний вимірювач тонкодисперсної пилу «FMA-TMS-1», який може бути використаний в автоматичних системах контролю запиленості [34]. Стаціонарна оптична система для вимірювання тонкодисперсної пилу «FMA-TMS-1» працює за тим же принципом, що й інші прилади серії ТМ. Вимірювальна система складається з вимірювальної камери (датчика) і обробного пристрою, розробленого у вигляді стаціонарної установки для автоматичного вимірювання і самодіагностики.

Захисний повітряний потік оберігає вимірювальну камеру від засмічення.

Захисний повітряний потік оберігає вимірювальну камеру від засмічення. Основною перевагою цієї концепції є простота установки, низькі витрати на обслуговування і економічність при тривалій роботі. Польський пиломери PL-1, розроблений центром електрифікації і автоматизації гірничої промисловості ЕМАО (Катовіце, Польща) здійснює вимір вдиhaється фракцій пилу в повітрі гірничих виробок. Прилад передбачений для роботи з підземним цифровим концентратором ССД станцією VAt. Робота пиломери заснована на принципі розсіяного світла на частинках пилу. Як джерело світла застосований світлодіод інфрачервоного випромінювання.

Інтенсивність розсіяного на частинках пилуки світла вимірюється фотодиодом, які працюють в тому ж діапазоні світловипромінювання. Вихідна ланцюг пиломери PL-1 може підключатися до аналогових входів підземних цифрових концентраторів і підземних станцій. Порівняльні випробування стаціонарного приладу PL-1с кращими закордонними зразками (таблиця 1.4) показали, що прилад не може бути використаний для визначення всієї маси витає пилу без встановлення коефіцієнтів перерахунку для кожної виробки [34,36].

Це пов'язано як з їх технічними характеристиками так і з тим, що для отримання значення концентрації пилу в (масовому вираженні) потрібно апріорне знання даних про пилу (розміри, форму частинок, показнику заломлення,

коефіцієнти поглинання або заломлення світла, електричні властивості пилу) [26]. А найбільш істотною характеристикою пилу, що впливає на похибка вимірювання, і від якої неможливо усунути, є її мінливість по щільності речовини. Оптичний сигнал за своїми вимірюється параметрами неминуче залежить від зазначених параметрів і характеристик пилу.

Методична похибка оптичних методів, при обліку перерахованих інших факторів, визначається мінливістю зазначених параметрів і має значення - 30%, а при значній мінливості крупності пилу і питомої ваги речовини пилу - до 70% і більше [37]. Крім того, основним недоліком існуючих приладів контролю пилових безпеки є те, що навіть вугільний пил однієї і тієї ж марки вугілля має подвійні оптичні показники: при однаковому змісті інертного пилу в пробі, наприклад, вугільний пил розміром менше 63 мкм і менше 200 мкм мають різну оптичну густину.

Тому для досягнення точності вимірювань в разі оптичного і радіоізотопного методів необхідно в кожному випадку досліджувати дисперсний склад саме вугільного пилу, а потім здійснювати калібрування приладу. У зв'язку з вищевикладеним багато авторів вважають, що контроль пиловідкладення зі зміни середніх концентрацій зваженої в повітряному потоці пилу ні в теоретичному, ні тим більше, в практичному плані не прийнятний [16, 37-40].

Технические характеристики датчиков и приборов пылевого контроля

зарубежных стран	
Технические данные	Измеряемая фракция
п/п	
Тип прибора 2 Принцип действия	Основная
	относительная
	погрешность
Диапазон измерения	Индикация показаний
витающей пыли, мк/м3	Принцип подачи контролируемой пробы

Источник питания

		Значения технических данных		
Напряжение питания, В	CIP 10*	TM-data	PL-1	DUST
				TRAK
Габаритные размеры, мм	Гравиметрический с голоками: 1. на общую массу	Оптический (рассеивание света в ИК диапазоне)	Оптический (рассеивание света в ИК диапазоне)	Оптический (рассеивание света в ИК диапазоне)
Вес, кг	2. респираторную фракцию			
Страна-изготовитель	От 1,0 до 500	0,01-г50	0-^400	Более 1,0
	вся масса			
	фракция0,01-10	Вся масса	Вся масса	
	Z7,1 мк			
	20	25	15 от диапазона измерения	н/д
	нет	цифровая	нет	цифровая
	Принудительнаяза 600 л/ч	счет за скоростного напора вент, струи	счет за скоростного напора вент, струи	Пробоотборная трубка
	Аккумуляторная батарея	Аккумуляторная батарея	От источника. Батарейная поддержка	От источника. Батарейная поддержка
	7,2	8,4	8,5-15	8,5-15
	70x45x165	193x102x46	165x180x95	н/д
	0,28	0,98	3,00	н/д
	Франция	Германия	Польша	США

Висновки до розділу 1

1. Діючі в даний час засоби контролю пиловихобезпеки не відповідають сучасним умовам вуглевидобутку і вимогам пиловихобезпеки.

Застосування в якості засобів контролю пиловихобезпеки гірничих виробок приладів побудовані на контролюванні параметрів сланцевої пиловихобезпехи неприйнятно:

1. У зв'язку зі скороченням застосування сланцевої пиловихобезпехи і розширенням області застосування гідропиловихобезпехи.

2. Епізодичне контроль не може дати об'єктивну оцінку тому вибухонебезпечний шар вугільного пилу може накопичитися поверх сланцевої вже протягом декількох годин.

Вимірювання пиловідкладення зі зміни середніх концентрацій пилу, зваженої в повітряному потоці неприйнятно:

- у вентиляційних виробках, в зв'язку з труднощами, а часто неможливістю, встановлення в перетинах виробітку інформативних точок вимірювання концентрації, визначення в них коефіцієнта приведення результатів виміру до середньої концентрації пилу по перетину вироблення, необхідністю врахування посування джерела пилу;

- у виробках з протяжним джерелом пилу (конвеєрні виробки) виміряти пиловідкладення по різниці концентрацій витає пилу принципово неможливо.

Спроба здійснювати оцінку пиловихобезпеки за рівнем концентрації зваженої пилу не дала позитивних результатів.

У зв'язку з цією обставиною для підвищення рівня пиловихобезпехи актуальним завданням є розробка принципово нових способів і засобів контролю пиловихобезпеки гірничих виробок, які здійснюють безперервний моніторинг інтенсивності пиловідкладення в гірських виробках вугільних шахт.

Найбільш прийнятним в цьому аспекті є метод дистанційного автоматизованого контролю інтенсивності пиловідкладення передачею на

поверхню інформації про наявність вибухонебезпечного відкладення пилу, що дало б змогу приймати оперативні заходи при виявленні порушень пилового режиму.

зв'язку з цим в роботі поставлені і вирішені наступні завдання:

Проведення дослідження способів контролю пилових безпеки, рекомендованих діючими нормативними документами та «Інструкцією по боротьбі з пилом і вибухозахисту».

Встановлення аналітичної залежності координати установки «підкладки» від висоти виробки.

Визначення ступеня впливу параметрів вентиляційного струменя та концентрації пилового аерозолі на формування зон інтенсивного накопичення пилу.

Встановлення факторів, що визначають параметри функціональної схеми датчика інтенсивності пиловідкладення (ДІП) в гірничих виробках вугільних шахт. Розробка датчика ДІП на основі прецизійних ваг.

Встановлення залежності, що визначає динаміку виносу пилу, що відклався на приймальню платформу датчика ДІП.

Розробка функціональної схеми системи моніторингу інтенсивності пиловідкладення на основі ДІП.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ДІСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

2.1 Методика визначення похибки рекомендованих нормативними документами методів вимірювання інтенсивності пиловідкладення

Способи, рекомендовані нормативними документами [10,13] не можуть дати фактичних величин інтенсивності пиловідкладення і поточну оцінку вибухонебезпечності гірничих виробок. Перший спосіб (формула 1.5) прийнятний тільки при «точковому» джерелі пилу, тобто за умови, що немає додаткових джерел і концентрація більш менш рівномірно розподілена в перерізі виробки. Другий спосіб (формула 1.6) малоефективний особливо при високій інтенсивності пиловідкладення, так як вимагає розташування спеціальних підкладок, збір їх і визначення приросту в лабораторних умовах.

По суті це непрямі методи, які як показала практика і справжній аналіз вимагають значних трудовитрат і дають велику помилку вимірювання. Оскільки інших способів оцінки інтенсивності пиловідкладення немає, була розроблена методика прямого визначення інтенсивності накопичення пилу на поверхні виробки з метою оцінки помилки вимірювання рекомендованими способами [12]. Для виконання цієї методики були виготовлені макети поверхні накопичення пилу, відповідної аркового кріплення, що складаються з розсувних елементів, що дозволяють встановлювати «арку» по периметру вироблення. «Арки» оснащувалися пристроями, що дозволяють кріпити полотнище нетканого матеріалу, що відтворює поверхню вироблення (рис. 2.1).

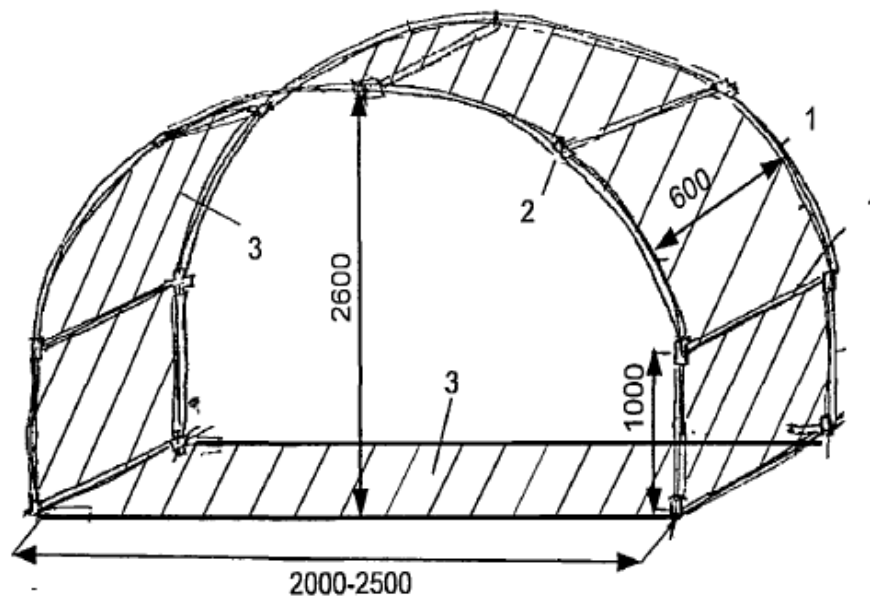


Рис 2.1 Схема арки замірної станції: 1-елементи арки; 2-елементи кріплення полотнища; 3-полотнище нетканого матеріалу

Як покривний матеріал використовувався нетканый матеріал "Агротекс", щільністю 60 г / м².

Попередньо в місцях інтенсивного пиловідкладення (на вентиляційних штреках і навантажувальних пунктах, вибиралися незахарашених перетину і вимірювалися параметри виробок:

перетин, S, м²;

периметр, П, м;

швидкість руху вентиляційного струменя, V, м/с. Підготовляли необхідну кількість полотнищ шириною $8 = 0,6$ м.

Полотнища зважувалися з точністю до одного грама. У виробках перед видобувних зміною встановлювалися арки і кріпилися полотнища і на відстані 1,5 - 2,0 м від арки встановлювалися підвешивались) вимірювачі концентрації пилу ДП, уточнювалося відстань від виходу з лави або вантажного пункту.

Отримані значення фіксувалися і заносилися в таблицю. З початком робіт з виїмки вугілля включалися в роботу вимірювачі концентрації пилу, і фіксувалося час початку їх роботи. Після закінчення робіт з виїмки (закінчення видобувних

зміни) вимикалися вимірювачі концентрації пилу, і фіксувалося час закінчення роботи, і знімалися полотнища. При знятті полотнищ забезпечувалося збереження пилу, що осів і відклався на їх поверхні. Полотнища видавалися на поверхню, зважувалися, і результати зважування заносилися в таблиці. У лабораторії визначалися прирости пилу на фільтрах ДП. Поряд з цим в вимірювальних перетинах на підкладки містилися попередньо зважені фільтри АФА-ВП-10 для визначення інтенсивності пиловідкладення за формулою (1.6).

За даною методикою дослідження проводилися на ділянці лави шахти "Алмазна" ДП «Добропіллявугілля». Лавою відпрацьовується пласт міцністю 1,6 м. Довжина лави 130м. Виїмка вугілля вівся комбайном 1ГШ-68 з комплексом ЗКД-90г. Провітрювання ділянки лави здійснювалося по возвратноточной схемою з випуском вихідного струменя на штрек (рисунок 2.2). Фактичні витрати повітря становив $690\text{м}^3/\text{хв}$. Перетин штреку в світлі становило $S = 9.3\text{м}$, периметр $\Pi = 10.7\text{м}$.

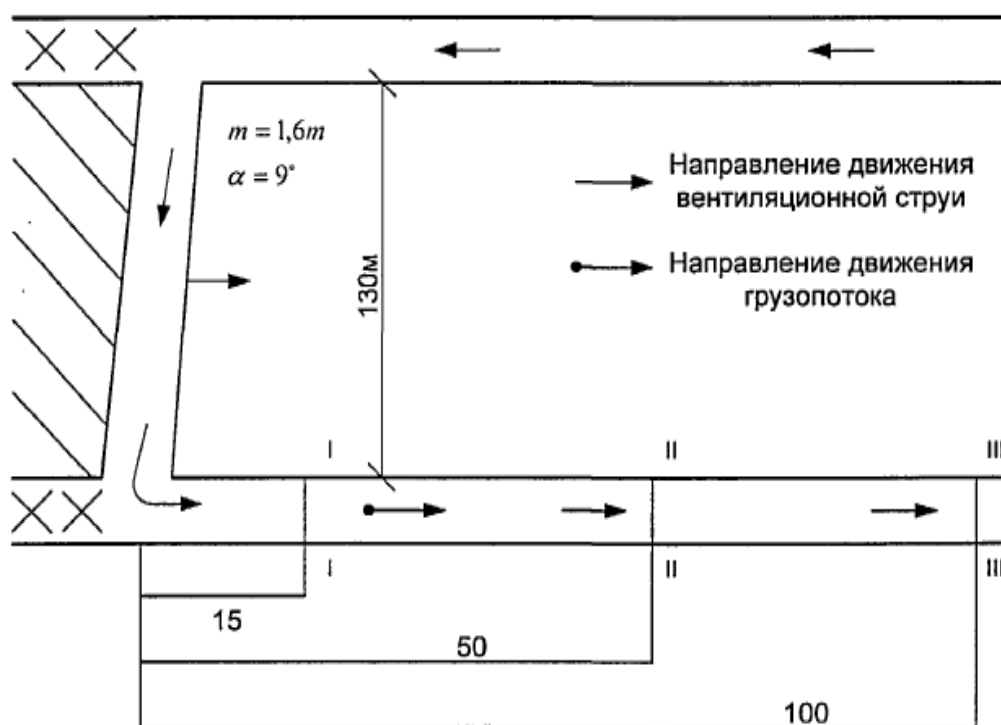


Рис 2.2 - Схема експериментальної ділянки II, II-II, III-III -замерние станції контролю інтенсивності пиленасипання.

На першому етапі досліджень в ремонтну зміну арки (замірний перетин) встановлювалися в відкатувальному штреку (рисунок 2.2) з початком роботи по виїмці встановлювалися підкладки з фільтрами АФА-ВП-10 і включалися вимірювачі середньозмінної масової концентрації пилу ДП. Далі всі роботи велися відповідно до методики. Результати досліджень наведені в таблиці 2.1.

Аналіз виконаних досліджень показав, що при рекомендованих «Інструкцією щодо попередження та локалізації вибухів вугільного пилу» методах контролю пиловідкладення показники відрізняються більш ніж на порядок. При цьому за першим способом (формула 1.5), показники занижені приблизно в 10 разів, що обумовлено рядом факторів, основними з яких є вкрай нерівномірний розподіл концентрації пилу в перерізі виробки, неізокінетичність відбору, і ін.

При другому способі (формула 1.6.) Завищені показники обумовлені тим, що відбір проб вівся на підшві виробки. Визначення найбільш оптимального місця установки поверхні відкладення (підкладки) по висоті вироблення дозволить мінімізувати похибку вимірювання поверхневої густини пилу в гірничих виробках. При розробці автоматизованих засобів контролю інтенсивності пиловідкладення необхідно використовувати метод підкладок, так як він є більш достовірним.

Таблица 2.1

Результаты натурных исследований различных способов контроля накопления пыли в горных выработках

Масса отложившейся пыли											
№ п/п	Номер замерного сечения	Контрольный замер	По количеству пыли на				По изменению средней концентрации				
			подложках				взвешенной пыли				
			р _в		р		р _в				
			PV/M2	г ПР.	г/м3	г/м3/сут	P5 п,г/м2	Рп,	PSc, Г/М2	PVc, Г/М3	Pc, г/м /сут
1	I - I	136,9	146,9	579,8	191,0	219,75	1107,8	I-I- П-П	I-I-II-II	I-I-H-H	
								17,4	20,03	80,12	
2	П-П	111,2	126,74	488,34	168,5	193,86	977,3				
								I-I-III-III	I-I-III	I-I-III-III	
3	Ш-Ш	124,35	143,35	533,1	167,7	179,43	972,66	11,93	17,73	54,94	

где: Ps - масса пыли, отложившейся на единицу поверхности, г/м2;

Pv - масса отложившейся пыли, отнесенная к единице объема выработки, г/м3; Pc - интенсивность пыленакопления, г/м /сут.

2.2 Дослідження процесів пиловідкладення в гірничих виробках і визначення оптимальних координат установки приймальної платформи датчика.

Процес накопичення пилу в гірничій виробці - осадження аерозолів в турбулентному потоці, де певну роль, крім сил гравітації, грає пульсації складова повітряного потоку [45]. Разом з тим випадання пилу з вентиляційних потоків відбувається не тільки на ґрунт вироблення, але не в меншій мірі пил осідає на бічні стінки і покрівлю виробки, елементи гірничошахтного обладнання та ін. [11,45].

У всіх теоретичних роботах, присвяченим дослідженням процесів осідання і осадження пилу в гірничих виробках, відзначається експонентний характер зміни параметрів пилового аерозолу як в часі, так і в просторі [42,43,44,45], що також підтверджується експериментальними дослідженнями [11,15 , 46]. Однак ні в одній з цих робіт не досліджувався процес зміни поверхневої густини накопичення пилу (г / м) в залежності від місця розташування майданчиків накопичення.

Такий процес можна описати залежністю.

$$M_{\phi} = A \cdot \exp(b \frac{h_i}{H})$$

где h - відстань від підшви виробки, на якій встановлено фільтр-підложка, м;
 H — висота виробки , м; A, b – експериментальні коефіцієнти.

Для оцінки ступеня впливу місця розташування приймального майданчика ДКП на фактичну поверхневу щільність пилу (г/м), що відклалася у виробленні, і встановлення справедливості вираження (2.1) були проведені спеціальні дослідження за раніше наведеною методикою. Схема розташування полиць показана на рис.2.3.

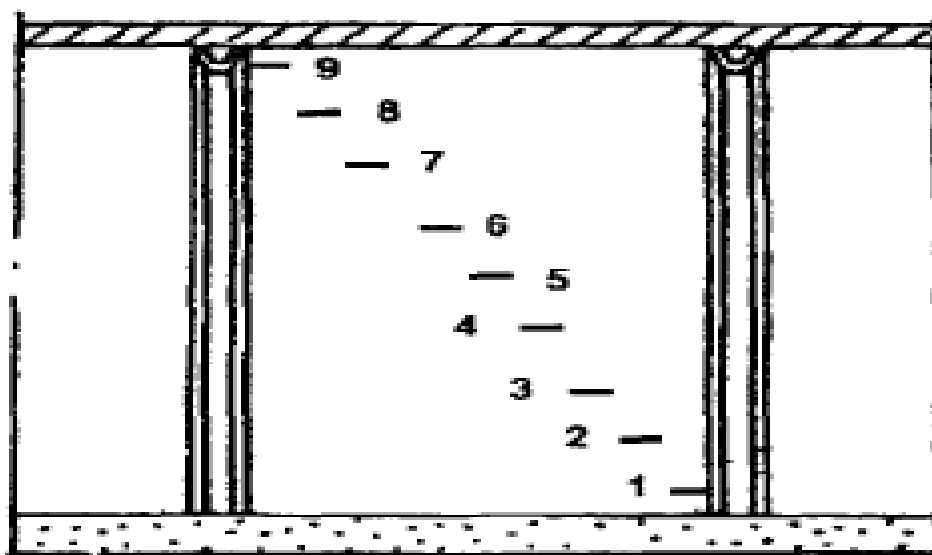
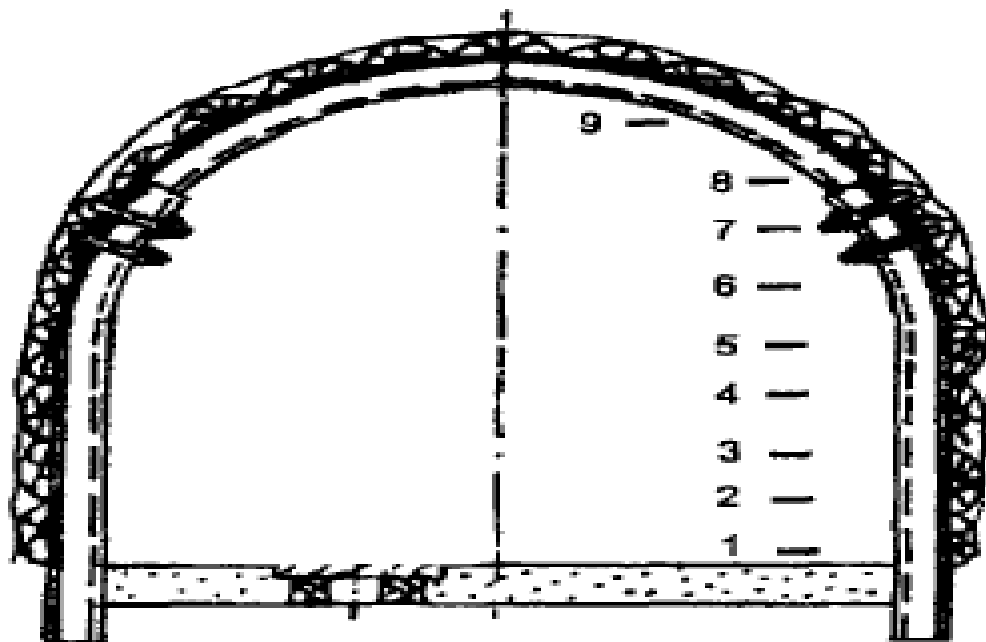


Рисунок 2.3. Схема розтошування пилезбираючих підложек перетину виробки.
а- у перетині, б – у плоскості стінок виробки

Таблиця 2.2
Результати експерименту

N пробы	Место установки приемной подложки	К Н	Характеристика підложек			М,, г/м2	М, м
			Вес подложки, г		Масса отложившейся пыли, г		
			чистой	с пылью			
Смена №1							
1	0,25	0,096	0.521	0.812	0.291	160.674	1.317
2	0,65	0,250	0.562	0.805	0.243	134.200	1.100
3	0,80	0,307	0.503	0.726	0.223	123.464	1.012
4	1,00	0,385	0.513	0.704	0.191	105.408	0.864
5	1,300	0,500	0.598	0.757	0.159	88.084	0.722
6	2,00	0,769	0.523	0.636	0.113	62.220	0.510
7	2,35	0,903	0.514	0.606	0.092	50.874	0.417
8	2,5	0,961	0.572	0.657	0.085	46.726	0.383
9	2,55	0,980	0.548	0.623	0.075	41.602	0.341
Смена №2							
10	0,25	0,096	0.578	0.826	0.248	137.250	1.125
11	0,65	0,250	0.593	0.795	0.202	111.630	0.915
12	0,80	0,307	0.546	0.784	0.238	131.272	1.076
13	1,00	0,385	0.572	0.746	0.174	96.136	0.788
14	1,300	0,500	0.569	0.721	0.152	84.180	0.690
15	2,00	0,769	0.538	0.659	0.121	67.100	0.550
16	2,35	0,903	0.544	0.648	0.104	57.584	0.472
17	2,5	0,961	0.519	0.612	0.093	51.240	0.420
18	2,55	0,980	0.583	0.668	0.085	46.848	0.384
Смена №3							
19	0,25	0,096	0.591	0.921	0.330	182.634	1.497
20	0,65	0,250	0.566	0.835	0.269	148.596	1.218
21	0,80	0,307	0.582	0.829	0.247	136.640	1.120
22	1,00	0,385	0.589	0.764	0.175	96.502	0.791
23	1,300	0,500	0.543	0.674	0.131	72.346	0.593
24	2,00	0,769	0.575	0.675	0.100	55.022	0.451
25	2,35	0,903	0.563	0.643	0.080	44.164	0.362
26	2,5	0,961	0.524	0.611	0.087	48.068	0.394
27	2,55	0,980	0.516	0.582	0.066	36.234	0.297

де Н - висота виробки, Н = 2,6 м.

ht - відстань від підосви виробки на якій встановлений фільтр-підкладка, м.

М- Середня маса пилу, що відклався, на одиницю поверхні виробки, г / м² (визначена прямим методом), М = 122 г / м

M_t - маса пилю, що відклався на одиницю поверхні фільтра-подложка, г / м². Розрахунок коефіцієнта кореляції і експериментальних коефіцієнтів рівняння (2.1) був проведений чисельними методами обробки експериментальних даних.

2.2.1 Розрахунок коефіцієнта кореляції

Введемо масиви експериментальних даних.

X - вектор відносин висот установки фільтрів АФА до висоти вироблення.

Y - вектор відносин середнього значення поверхневої густини пилю на фільтрах АФА (за трьома змінах) до середньої маси пилю, що відклався, на одиницю поверхні, визначеної прямим методом

$$X := \begin{pmatrix} 0.096 \\ 0.250 \\ 0.307 \\ 0.385 \\ 0.5 \\ 0.769 \\ 0.903 \\ 0.961 \\ 0.980 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 1.313 \\ 1.077 \\ 1.069 \\ 0.814 \\ 0.668 \\ 0.504 \\ 0.417 \\ 0.399 \\ 0.340 \end{pmatrix}$$

Визначимо розмірність векторів X і Y.

$$\begin{aligned} N_x &:= \text{length}(X) & N_y &:= \text{length}(Y) \\ N_x &= 9 & N_y &= 9 \end{aligned}$$

Визначимо дисперсію і середньоквадратичне відхилення вектора X.

$$\begin{aligned} D_x &:= \frac{1}{N_x} \cdot \sum_{i=0}^8 (X_i)^2 - \left[\frac{1}{N_x} \cdot \sum_{i=0}^8 (X_i) \right]^2 \\ D_x &= 0.101 \\ \sigma_x &:= \sqrt{D_x} & \sigma_x &= 0.317 \end{aligned}$$

Визначимо дисперсію і середньоквадратичне відхилення вектора Y.

$$Dy := \frac{1}{Ny} \cdot \sum_{i=0}^8 (Y_i)^2 - \left[\frac{1}{Ny} \cdot \sum_{i=0}^8 (Y_i) \right]^2$$

$$Dy = 0.111 \quad \sigma_y := \sqrt{Dy} \quad \sigma_y = 0.333$$

Визначимо ковариацію векторів X і Y.

$$Cov(X, Y) := \frac{1}{Nx} \cdot \left[\sum_{i=0}^8 (X_i \cdot Y_i) \right] - \frac{\sum_{i=0}^8 (X_i) \cdot \sum_{i=0}^8 (Y_i)}{Nx}$$

$$Cov(X, Y) = -0.103$$

Визначимо коефіцієнт кореляції векторів X і Y.

$$R(X, Y) := \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

$$|R(X, Y)| = 0.83$$

При такому значенні коефіцієнта кореляції, між векторами X існує функціональна залежність.

2.2.2 Визначення експериментального коефіцієнтів рівняння

Перейдемо до лінійного вигляд рівняння (2.1) прологарифмував обидві його частини:

Знайдемо коефіцієнти рівняння (2.2) з допомогою Функції лінійної регресії за методом найменших квадратів.

Таким чином, рівняння (2.1) буде мати вигляд:

$$\text{line}(X, \ln Y) = \begin{pmatrix} 0.419 \\ -1.461 \end{pmatrix}$$

$$b := -1.461$$

$$A := e^{0.419}$$

$$A = 1.52$$

Для перевірки результатів розрахунків визначимо рівняння (2.1) за допомогою функції експоненційної регресії:

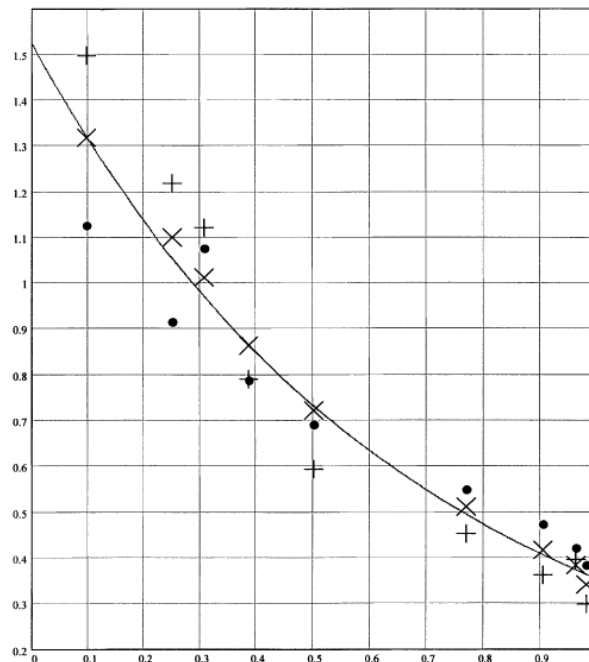


Рис. 2.4. Результати експерименту

- експериментальні данні зміна 1

• - експериментальні данні зміна 2 + - експериментальні данні зміна 3

Для кожної розглянутої частки визначалося значення позовжньої координати x , при якій частка стикається зі стінкою. Вважалося, що після зіткнення частка осідає на стінці (всі проекції швидкості і прискорення звертаються в нуль).

Розглядалися перші 350м довжини каналу. Програма підраховувала кількість частинок осіли на i -м погонному метрі, а потім визначалася інтенсивність осадження шляхом ділення на загальне число частинок

$$\eta = \frac{n_i}{n_{\Sigma}} \cdot 100, \%$$

На рис. 2.2 представлені діаграми інтенсивності осідання частинок на стінках каналу, отримані розрахунковим шляхом. Видно, що осідання частинок відбувається нерівномірно, причому положення максимуму пиловідкладення по довжині каналу залежить від середньої швидкості руху повітря. Зона інтенсивного пиловідкладення для швидкостей руху повітря від 0,5 до 4 м/с не перевищує 100-150м, осідання пилу за межами зони інтенсивного пиловідкладення має практично рівномірний характер.

Таким чином, моніторинг пиловідкладення необхідно проводити мінімум в двох точках вироблення, координата першої з них визначається з урахуванням середньої швидкості руху повітря у виробці, координата другий становить 100-150 м.

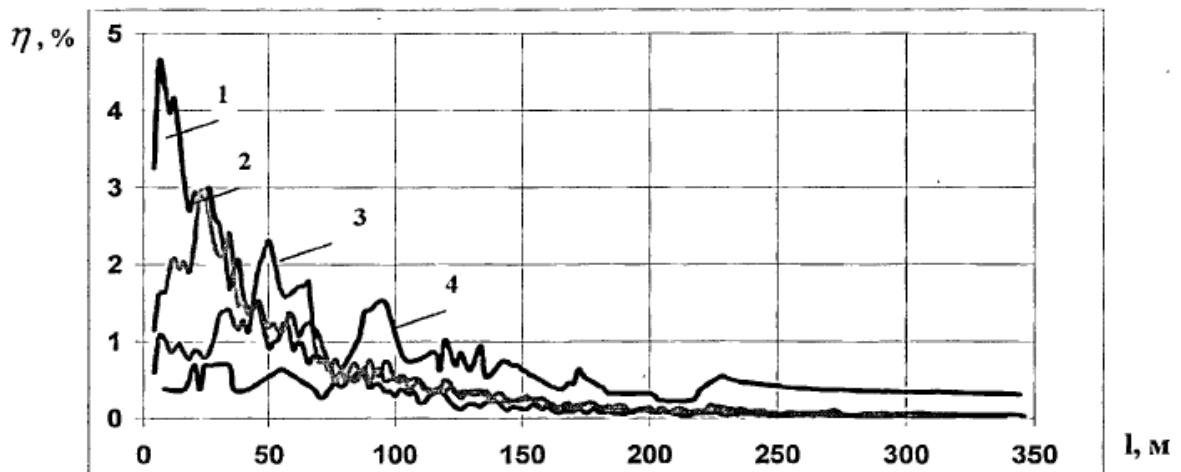


Рис.2.5 Діаграми інтенсивності осідання частинок на стінках каналу

Висновки до розділу 2

1. Серед методів вимірювання інтенсивності пиловідкладення, рекомендованих нормативними документами метод "підкладок" є на порядок більш точним ніж метод точкових вимірів концентрацій в перерізі виробки.

2. Одним з факторів, що визначають достовірність даних про інтенсивність пиловідкладення в гірничих виробках, є місце розташування приймального майданчика ДКП по висоті вироблення.

3. Рациональні значення координат установки датчиків інтенсивності пиловідкладення ДП-1 по довжині виробки, які визначаються з використанням математичної моделі міграції частинок пилу, лежать в діапазоні 10 - 150м для швидкостей руху повітря від 0,5 м/с до 4 м/с.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ТА МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ

3.1 Огляд раніше виконаних досліджень по створенню датчиків інтенсивності пиловідкладення

Наведені дослідження свідчать про те, що найбільш прийнятними є способи контролю ітенсивність пиловідкладення засновані на визначенні поверхневої густини пиловідкладення на приймальні пристрої.

При виборі датчиків інтенсивності пиловідкладення представляють інтерес різні віброрезонансние датчики, в тому числі пьезорезонатори; датчики, засновані на високочастотному методі вимірювання неелектричних величин, а також радіометричні на принципі вимірювання іонізуючого випромінювання.

віброрезонансних датчиках маса речовини (пилу), відкладалися на металевій мембрані або п'єзокристал, змінює резонансну частоту механічних коливань. Робоча поверхня датчика залишається відкритою для осідає пилу, а отриманий вихідний сигнал може бути переданий по дротах на вимірювальну станцію, що знаходиться на значній відстані від пункту контролю.

Вібродатчик застосований в експериментальній системі дистанційного вимірювання пиловідкладення і якості осланцювання, що розробляється Гірським бюро США. Чутливим елементом є тонка металева діафрагма з певною власною резонансною частотою механічних коливань. Кількість відкладеного пилу вимірюється по зміні резонансної частоти датчика в міру його навантаження. [15]

Високочастотний метод вимірювання неелектричних величин запропонований Інститутом проблем управління (автоматики і телемеханіки) АН Росії [41]. Грунтуючись на цьому методі, інститут спільно з МакНДІ розробив радіохвильовий датчик пиловідкладення.

Суть роботи датчика полягає в вимірі частоти коливань електромагнітного поля, що змінюється (зменшується) при наявності в ньому 60 пилу. При цьому

використовується високочастотна електромагнітна система з розподіленими параметрами. Хвильові явища в такій системі виникають при сумірності довжин хвиль з її конструктивними розмірами. Інтегральною характеристикою датчика є резонансна частота коливань.

Чутливий елемент датчика (рисунок 3.1) являє собою резонуючий контур, виконаний у вигляді закріпленої в верхньому торці металевого корпусу діелектричної пластини, на металізованих поверхнях якої є рівномірно розподілені зигзагоподібні щілини, що утворюють основний (рисунок 3А, а) і додатковий (рисунок 3.1, в) резонатори.

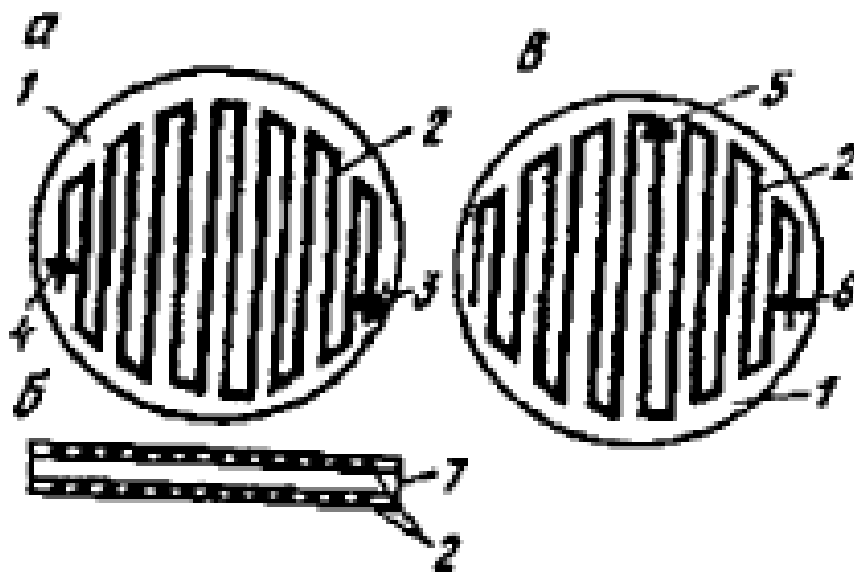


Рис 3.1 - Чутливий елемент радіоволнового датчика пиловідкладення: а - вид зверху (основний резонатор); б - розріз; в - вид знизу (додатковий резонатор); 1 - металеве покриття; 2 - щілинна лінія; 3 - 4 - точки підключення кабелю до основного резонатора; 5-6 - точки підключення кабелю до додаткового резонатора; 7 - діелектрична пластина

Основний резонатор розташований на верхній поверхні корпусу, зверненої назовні, і служить одночасно пилесобірающою підкладкою. Додатковий резонатор розташований на нижній поверхні пластини, зверненої всередину корпусу. Для повного видалення пилу звернена назовні поверхню чутливого елемента покривається лаком або плівкою з водовідштовхувального матеріалу.

На платі всередині корпусу встановлені генератор електромагнітних коливань з власною частотою 100 мГц, детектор і підсилювач. Блок-схеми датчика (рисунок 3.2) додатковий резонатор включений в частотозадаючих ланцюг генератора.

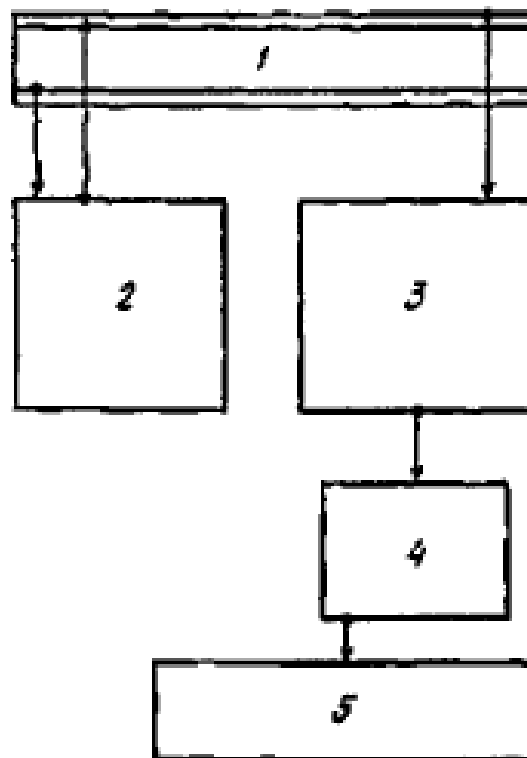


Рис 3.2 - Блок-схема радіохвильового датчика:
1 чутливий елемент; 2 - генератор; 3 - детектор; 4 - підсилювач;
5 - пристрій, що реєструє

При подачі живлення в високочастотному генераторі виникають електромагнітні коливання, частота яких визначається власної (резонансної)

частотою додаткового резонатора. Отриманий високочастотний сигнал по кабелю подається до основного резонатора. Порушувані в основному резонаторі коливання випрямляються детектором і посилюються підсилювачем, далі отримане напруга перетвориться в цифровий сигнал.

Власна частота основного резонатора при відсутності пилу збігається з власною частотою додаткового резонатора, а блок реєстрації при цьому фіксує максимальну напругу.

Частота коливань основного резонатора зменшується пропорційно осадження пилу. Відповідно зменшується і реєстроване напруга. Крім цього, основний резонатор змінює свою власну частоту при зміні параметрів навколишнього середовища-температури і вологості повітря. Включення додаткового резонатора (тієї ж конфігурації, що і у основного резонатора) в частотно задану ланцюг генератора дозволяє компенсувати цей вплив і тим самим виключити похибку, викликану зміною, параметрів навколишнього середовища.

Напруга U на виході основного резонатора в першому наближенні лінійно пов'язано з частотами резонатора і генератора:

$$U = a(f - f_z) + b$$

де: a і b - постійні коефіцієнти.

Оскільки параметри повітря впливають в рівній мірі на f та f_z , різниця частот при відсутності відкладеного пилу зі зміною параметрів повітря залишиться незмінною. Пил осідає тільки на основному резонаторі, тому впливає тільки на його частоту.

Чутливість основного резонатора підвищується за рахунок електропровідності вугільного пилу, так як відкласти пил знижує не тільки частоту, але і напруга на виході основного резонатора. Харчування датчика здійснюється напругою 10В. Датчик є вибухо- і іскробезпечним.

При випробуваннях датчики нагружались шляхом накопичення на них пилу, що осідає в аеродинамічній камері або розсіюється вручну. У першому випадку датчики встановлювали усередині камери, оснащеної вентилятором, що створює спрямований рух повітря, і пилеподатчіком.

Величину пиловідкладення на датчику в камері регулювали часом навантаження його пилом. Навантаження по пилу вибиралася таким чином, щоб охопити необхідні мінімальний і максимальний за значенням межі небезпечної величини відкладення для сильно- і слабовзривчатої пилу, в тому числі і найбільш часто зустрічається діапазон 10-100 г / м. У випробуваннях використовувалася еталонна пил пласта т 3 "Макіївський".

Як впливає з даних таблиці 3.1, в якій наведено результати випробувань датчика при розсіюванні пилу вручну, різниця потенціалів, показана реєструючим вольтметром, плавно змінюється (зменшується) в міру зростання кількості відкладеного пилу.

Таблиця 3.1

Результати випробувань радіоволнового датчика для вимірювання кількості пилу, нанесеної за допомогою сита

Загальна маса пилу на підложці г	Поверхнева щільність пилу, г/м	Показники				Середнеквад ратичне відхилення, Мв	Коефіцієнт варіації, %	Чутливість, Мв/(г/м2)
		Число опитів	Вольтметра мВ					
			min	max	среднее			
0	0	6	70,0	70,8	70,3	0,28	0,40	
80	10	6	66,9	67,3	67,1	0,22	0,33	3,2
160	20	6	64,5	65,0	64,8	0,17	0,26	2,3
240	30	6	61,7	62,3	62,2	0,18	0,29	2,8
320	40	6	59,5	60,3	59,8	0,28	0,46	2,2
400	50	6	57,9	58,4	58,3	0,22	0,38	1,5
480	60	6	56,3	56,8	56,7	0,22	0,39	1,6
560	70	6	54,9	55,3	55,2	0,17	0,31	1,5
640	80	5	53,5	53,9	53,7	0,18	0,33	1,5
720	90	5	52,3	52,7	52,5	0,15	0,29	1,2
800	100	5	51,1	51,6	51,3	0,20	0,39	1,2
1600	200	4	44,0	44,5	44,2	0,16	0,36	0,7

Дані випробувань в аеродинамічній камері (таблиця 3.2) підтвердили результати, отримані при нанесенні за допомогою сита заздалегідь відомої пилової навантаження.

Таблиця 3.2

Результати випробувань радіоволнового датчика для вимірювання кількості осілого пилу в аеродинамічній камері

Загальна маса пилу на підложці, г	Поверхнева щільність пилу, г/м ²	Показники вольтметру, мВ	Загальна маса пилу на підложці, г	Поверхнева щільність пилу, г/м ²	Показники вольтметру, мВ
37	0,5	68,3	559	7,0	54,7
62	0,8	67,8	660	8,2	53,1
102	1,3	66,2	728	9,1	52,6
130	1,6	65,5	860	10,8	50,9
177	2,2	63,4	1032	12,9	48,5
192	2,4	63,6	1120	14,0	47,8
270	3,3	61,0	349	4,3	59,3
386	4,8	57,9	503	6,3	56,0

Отримана похибка у визначенні поверхневої густини відкладеного пилу становить 15-20%. Випробуваннями в тепловлагокамере встановлено, що пристрій забезпечує компенсацію температурних і вологісних впливів навколишнього середовища, зберігаючи стабільність показань в межах 6-35 ° С і відносній вологості 48-99%.

Через низку конструктивних недоліків цей датчик промислового застосування не отримав.

Радіоізотопний метод вимірювання інтенсивності пиловідкладення заснований на використанні властивості радіоактивного випромінювання, що поглинається частинками пилу. Масу осілого пилу визначають по ослабленню радіоактивного випромінювання при проходженні його через пиловий осад. Масу m осіла на фільтр пилу визначають виходячи із залежності

$$I_{\text{рад}} = I_{0 \text{ рад}} \exp(-\mu_m m)$$

Где: $I_{\text{рад}}$, $I_{0 \text{ рад}}$ -интенсивность радиоактивного излучения после прохождения его через пылевой осадок на фильтре и через чистый фильтр;
 μ_m - массовый коэффициент поглощения радиоактивного излучения, равный
 $\mu_m = a E_{\text{max}}^{-b}$ где E_{max} -максимальная энергия радиоактивного излучения; a, b - константы ($a = 0,017 \div 0,022$, $b = 1,14 \div 1,50$).

При визначенні концентрації пилу радіоізотопним методом найбільш широко використовують β - випромінювання, так як воно має достатню проникаючу здатність і підпорядковується експоненціальним законом (формула 1.10).

МакНДІ були розроблені і випробувані два варіанти радіоізотопного датчика пиловідкладення [42,43]. У першому варіанті пилезбираючий екран постійної товщини, що пропускає бета-частинки (прозорий для них), опромінюється потоком від джерела випромінювання. Потік розсіяних частинок реєструється детектором, розташованим по той же бік, що і випромінювач (малюнки 1.8, 1.9).

Бажана умова по цій схемі - близькість атомних номерів екрану і покриття, що дозволить використовувати рівняння 3.3:

$$\Phi_d = \Phi_n (1 - e^{-kd}) ,$$

де Φ_a - потік випромінювання, відбите від матеріалу товщиною d ;

Φ_n – потік випромінювання, відбите від матеріалу товщиною $d \gg d_n$, d_n товщина насичення; do - коефіцієнт зворотного розсіювання.

Якщо взяти за основу число зареєстрованих назад розсіяних бета-частинок n , то щ визначається за формулою 3.4:

$$n_d = n_n (1 - e^{-kd}) .$$

Гідність цієї схеми - вільне осадження пилу на контрольовану поверхню.

У другому варіанті товщина екрана перевищує товщину насичення, а атомні номери екрану-підкладки і покриття повинні відрізнятися не менш ніж на дві

одиниці. Гідність цієї схеми - можливість виключення при вимірюванні чинників, що заважають, наприклад, породної складової в осідає пилу. Недолік цієї схеми - екранування пилесобірающої майданчики конструктивними елементами датчика.

В даному випадку n_d визначається за формулою 3.5:

$$n_d = n_{н\text{ осн}} + (n_{н\text{ покр}} - n_{н\text{,осн}})(1 - e^{-kd}),$$

Де: $n_{н\text{ осн}}$ - кількість частинок, розсіяних від заснування (екрану),

$n_{н\text{ покр}}$ - покриття (осілого пилу) при товщині, більшої товщини насичення.

Результати лабораторних досліджень показали, що кожна зі схем має свої переваги і недоліки.

Пріоритетами I схеми радіоізотопного датчика відносяться більш висока чутливість, низький поріг чутливості, великий період напіврозпаду ізотопу і порівняно невелика активність джерела.

Гідність II схеми - можливість простіше вирішити питання радіаційної безпеки та збереження джерела випромінювання.

Для виробок, в яких не застосовується осланцювання і тому не потрібно визначати кількість інертного пилу, що осів поверх вугільної, до переваг II схеми слід віднести також малу чутливість датчика до інертного пилу.

Основний недолік II схеми - складність здійснення конструкції, що не створює перешкод для вільного пилеосаження, а також підвищена активність і малий період напіврозпаду радіонукліда з ізотопом ^{204}Tl .

Діапазон вимірювання датчиком - 10-100 г/м вугільного пилу (по беззольної масі). Основним фактором, що впливає на точність визначення кількості осілого пилу, є хімічний склад негорючої маси вугілля, особливо вміст заліза. Повна похибка визначення поверхневої щільності вугільного пилу становить $\pm 20\%$ при довірчій ймовірності 0,95.

Другий варіант радіоізотопного датчика був прийнятий для використання в експериментальному зразку системи ДКП.

Система ДКП була розроблена для видобувної ділянки шахти ім.Горького ВО "Донецьквугілля".

Система складалася з наступних функціональних блоків: радіоізотопних датчиків пиловідкладення, розміщених в характерних по вибухонебезпечне ^{тм} місцях гірничої виробки; блоків управління, збору і передачі інформації, що встановлюються поблизу групи датчиків; лінії передачі; пристроїв прийому і реєстрації інформації.

Корпус радіоізотопного ДП (рисунок 3.3) представляв собою зварену конструкцію зі сталевого листа, герметичну гумовою прокладкою. У верхній частині є похилий козирок, на якому закріплені джерело і детектор випромінювання. Останній розміщується в металевому контейнері з товщиною стінок 6 мм, що забезпечує його невилучення, а також зниження дози випромінювання не менше ніж в 103 разів. У контейнері є отвір діаметром 8 мм для виходу потоку бета-частинок, закриті поліамідної плівкою товщиною 100 мкм. Пилесобіраючий екран площею 80 см² виконаний у вигляді пластини з алюмінієвого сплаву товщиною 4 мм. Поверхня екрану покрита гідрофобним шаром фторопласту товщиною 10 мкм шляхом нанесення суспензії Ф-4МД (ТУ 6-05-2012-86).

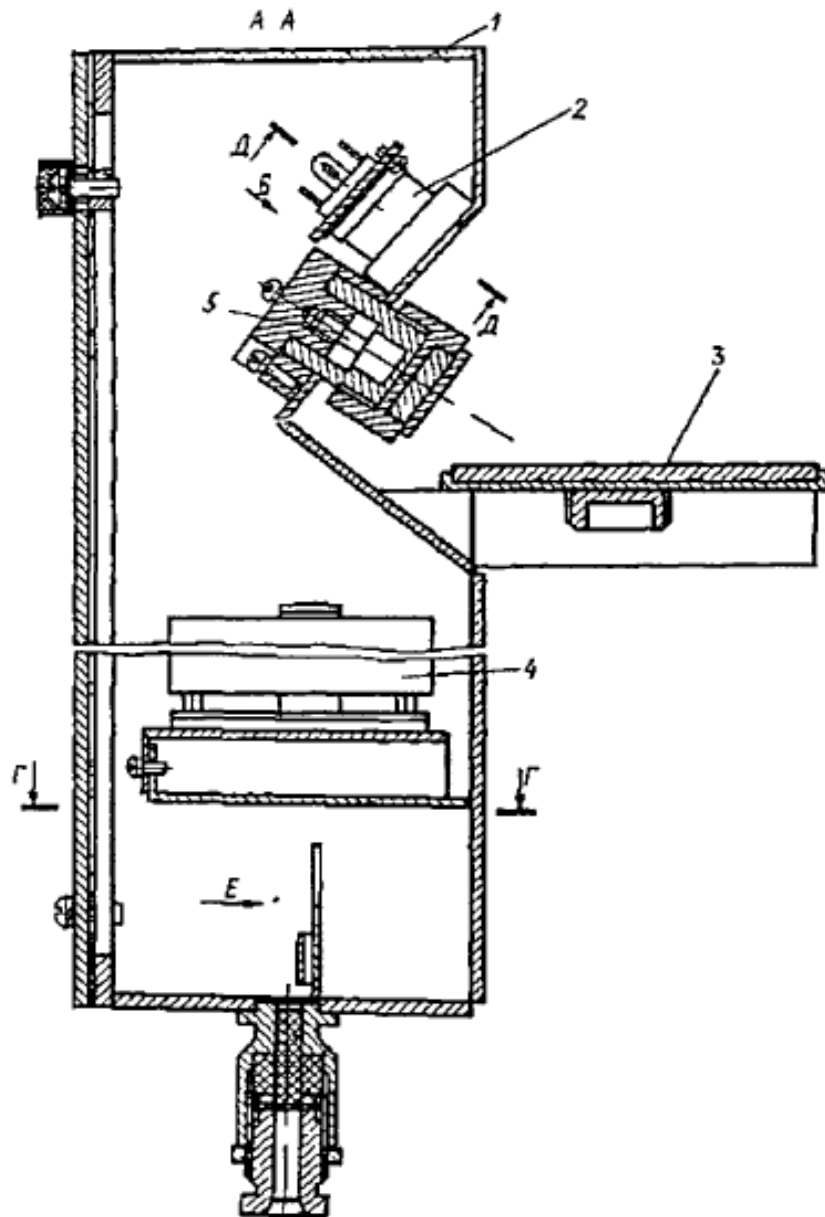


Рис 3.3 Схема радіоізотопного датчика інтенсивності пилевідкладення: 1-корпус; 2-детектор; 3-пилезбираюча підложка; 4-підсилювач-формувальник та перетворювач сигнала; 5-джерело випромінювання

Принцип роботи радіоізотопного датчика інтенсивності пилевідкладення наступний: бета-частинки з джерела випромінювання -5, розсіяні від пилу на екрані-підкладці -3, потрапляють на лічильник бета-випромінювання і перетворюються вузлом детектора-2 в електричні імпульси, середня частота слідування яких обернено пропорційна кількості пилу. Електричні імпульси від датчика надходять в блок обробки інформації, який реєструє їх число, порівнює його з зберігаються в пам'яті і вищавє інформацію в блок збору інформації.

Технічний аналіз вугілля, що видобувається на ділянці
вміст золи $A_d = 2,2\%$;
вміст води $W_d = 1,0$;
вихід летючих $V_{daf} = 24,6\%$
нижня межа вибуховості пилу вугілля пласта $h_7 - SOTR = 47$ г/м

Випробування показали принципову можливість створення системи дистанційного автоматичного контролю інтенсивності пиловідкладення гірничих виробок на основі датчиків інтенсивності пилетоложення, однак через низку виявлених конструктивних і схемотехнічних недоліків (див. [43]) не вийшла з стадії експериментальних робіт.

Наведений вище аналіз показує, що застосування непрямих методів вимірювання поверхневої густини пиловідкладення на приймальні пристрої (радіоізотопний метод) вимагає реалізації складних конструктивних і схемотехнічних рішень (радіоізотопний датчик), що ускладнює їх експлуатацію особливо в шахтних умовах.

У зв'язку з цим застосування прямих методів вимірювання поверхневої густини пилу (методів, заснованих на вимірі маси пилу, що відклався на одиницю площі приймального майданчика) дозволить реалізувати найбільш оптимальну конструкцію датчика інтенсивності пиловідкладення, а використання сучасної елементної бази, методів і засобів обробки сигналів, цифрової техніки дозволить найефективніше використовувати датчик для здійснення моніторингу пиловибухобезпеки гірничих виробок.

На підставі аналізу раніше виконаних досліджень по створенню аналогічних датчиків [31,56,59] і змінених факторів їх застосування, був розроблений датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1 на основі прецизійних Мікроваги [41,56].

3.2. Розробка функціональної схеми і експериментального зразка датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках

Після попередньої конструктивної опрацювання була розроблена функціональна схема датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках, суть якої полягає в наступному. Принцип дії датчика повинен бути заснований на вимірюванні маси пилу, що відклався на одиницю площі приймального майданчика. ДІП повинен бути конструктивно виконаний у вигляді стаціонарного приладу, у вибухонебезпечному корпусі відповідно до вимог ГОСТ Р 51330.1-99, мати надійне кріплення у виробленні і можливість переміщення по мірі необхідності (посування лави, забою і т.д.).

ДІП повинен забезпечувати виконання таких функцій:

безперервне вимірювання інтенсивності пиловідкладення протягом не менше 10 год;

передача результатів вимірювання у вигляді стандартного аналогового сигналу (0,4 - 2,0 В) в загальношахтного систему моніторингу пиловибухобезпеки; видача сигналу про досягнення встановленого аварійного значення інтенсивності пиловідкладення.

Аварійні значення інтенсивності пиловідкладення повинні встановлюватися в залежності від параметрів кожної конкретної виробки.

Таким чином, датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках (функціональна схема приведена на рис.3.4) повинен складатися з приймальної платформи - 1, чутливого елемента на основі прецизійних мікроваг - 2, блоку обробки сигналу датчика (БОСД) - 3; блоку обробки і передачі інформації (БОПІ) - 4; дисплея - 5;

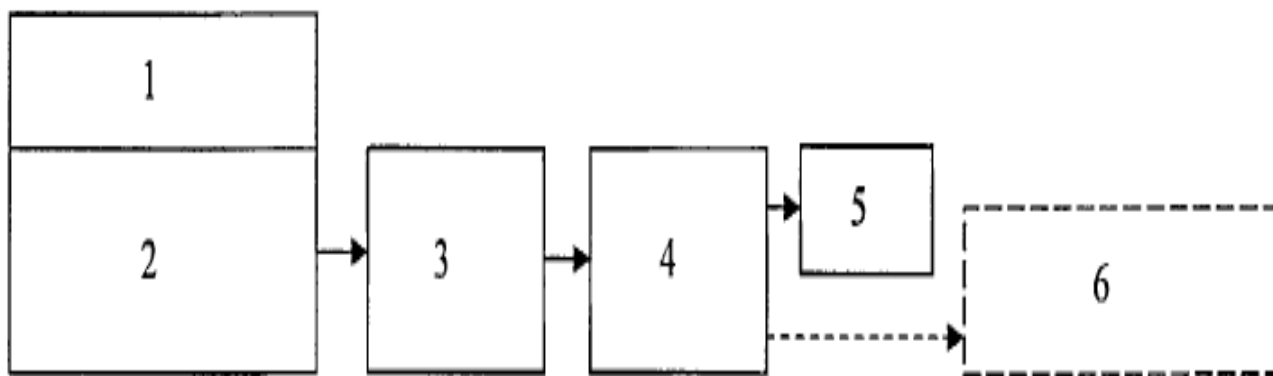


Рис. 3.4. Функціональна схема ДПП_1

1 приймальня майданчик датчика; 2 чутливий елемент; 3 блок обробки сигналу датчика (БОСД); 4-блок обробки і передачі інформації (БОПІ); 5-дисплей; 6 система моніторингу пилевзробезопасності (СМП).

Приймальна майданчик -1 є поверхнею відкладення пилу і з'єднана з чутливим елементом -2. БОСД -3 здійснює посилення, попередню обробку сигналу і перетворення його в вид необхідний для передачі в БОПІ. БОПІ -4. здійснює вимір сигналу, математичну обробку, перетворення сигналу в стандартний аналоговий вид (0,4 - 2В) і передачу його в СМП - 6. Дисплей - 5 служить для калібрування і перевірки працездатності ДПП-1.

В процесі технічної реалізації необхідно вирішити такі технічні завдання:

Визначити метрологічні вимоги до ДПП-1 (чутливість, діапазон і похибка вимірювання поверхневої густини пилу.)

Провести пошукові дослідження з вибору найбільш оптимального методу вимірювання маси, що задовольняє заданому діапазону.

Розробити прецизійні мікроваги на основі обраного методу вимірювання маси.

Розробити блок обробки сигналу датчика (БОСД) і блок обробки і передачі інформації (БОПІ).

Розробити конструкцію датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.

3.2.1 Визначення метрологічних вимог до ДП-1.

Відповідно до «Інструкції» [13] нижній концентраційний межа вибуховості відклався вугільного пилу визначається по номограмі рис.3.5.

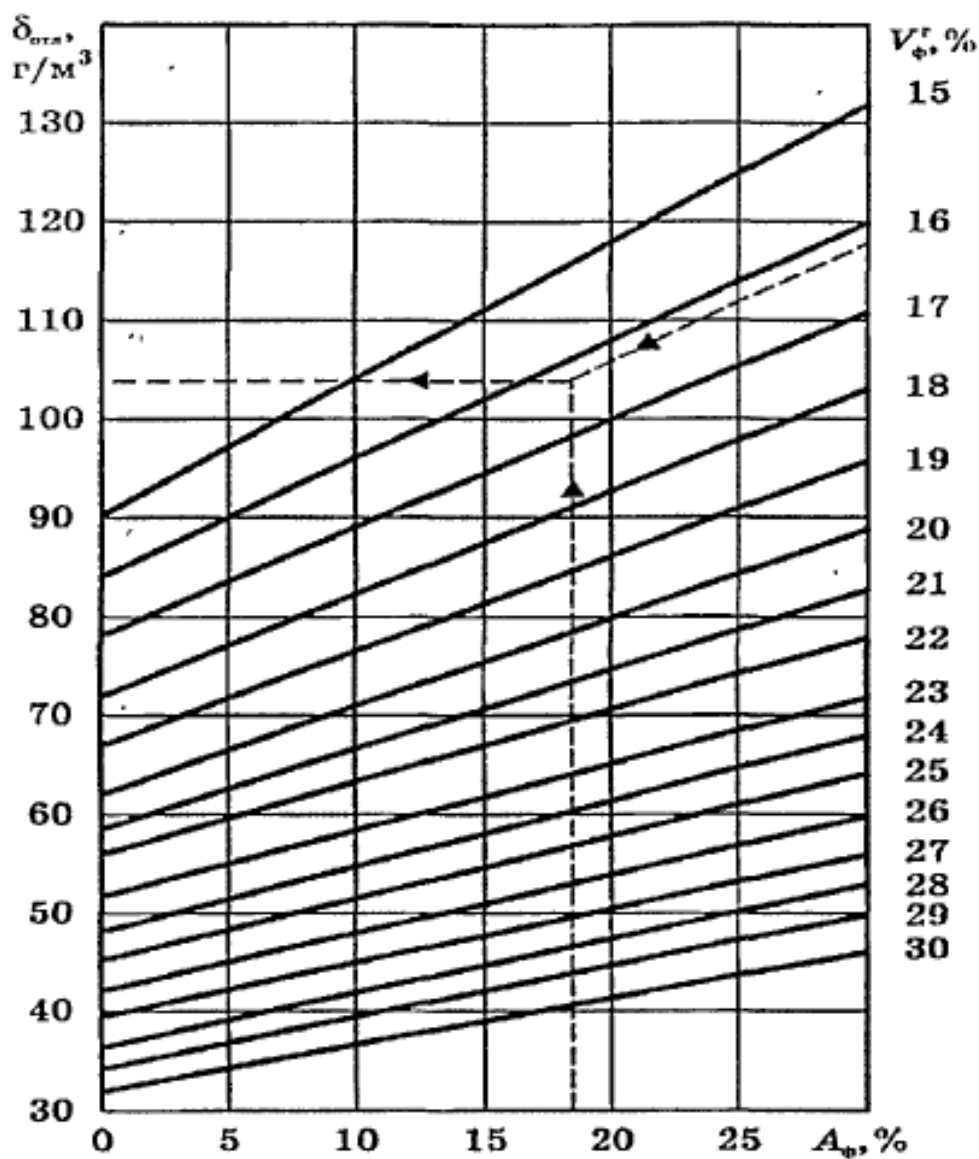


Рис.3.5 Номограма для визначення нижніх концентраційних меж вибуховості відкладеного вугільного пилу

З номограми (рис.3.5.) Видно, що значення нижньої концентраційної межі вибуховості відклався вугільного пилу лежить в діапазоні від 30 - до 130 г / м³ в залежності від виходу летких речовин і негорючих речовин.

Відповідно до формули 1.4 вибухонебезпечна маса пилу, що відклався на одиницю площі приймальної платформи ДІП_1 або вибухонебезпечна поверхнева щільність пилу складе

$$d = \frac{\delta \cdot S \cdot K_{CH_4}}{4,35b}, \text{ г/м}^2$$

де K_{CH} поправочний коефіцієнт, що враховує зниження нижньої концентраційної межі вибуховості відкладеного пилу в присутності метану. Значення K_{CH} в залежності концентрації метану наведені в табл.

Концентрація метана, %	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
K_{CH} ,	0,75	0,60	0,50	0,35	0,25

Для оцінки дискретності і діапазону вимірювання поверхневої густини пилу задамося величинами площі поперечного перерізу виробки S і ширини виробки по ґрунті B . Прийmemo $S = 8 \text{ м}^2$ і $B = 3 \text{ м}$.

Таким чином, мінімальне значення вибухонебезпечної поверхневої густини відкладеного пилу складе

$$d_{min} = \frac{\delta_{min} \cdot S \cdot K_{CH_4, min}}{4,35b} = \frac{30 \cdot 8 \cdot 0,25}{4,35 \cdot 3} = 5,17 \text{ г/м}^2$$

Т.ч. дискретність вимірювання d (повинна складати не більше 1 г/м^2)
Максимальне значення вибухонебезпечної поверхневої густини відкладеного пилу складе

$$d_{max} = \frac{\delta_{max} \cdot S}{4,35b} = \frac{130 \cdot 8}{4,35 \cdot 3} = 79,69 \text{ г/м}^2$$

Необхідний діапазон вимірювання поверхневої густини відкладеного пилу приймемо $D = (0 - 100) \text{ г/м}^2$

Висновки до розділу 3

Таким чином, на підставі проведених експериментальних досліджень розроблений датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках. У процесі технічної реалізації встановлено наступне.

Аналіз раніше виконаних досліджень показав принципову можливість створення датчиків інтенсивності пиловідкладення.

Неможливість експлуатації раніше створених датчиків інтенсивності пиловідкладення в шахтних умовах пов'язана із застосуванням в них непрямих методів вимірювання поверхностної щільності пилу, що відклався, на приймальню платформу (радіоізотопний метод), що в свою чергу, пов'язано з необхідністю реалізації вкрай складних конструктивних і схемотехнічних рішень

Застосування методів заснованих на вимірі маси пилу, що відклався на одиницю площі приймального майданчика, є найбільш оптимальним технічним рішенням для розробки датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках.

РОЗДІЛ 4. ШАХТНЕ ВИПРОБУВАННЯ ДАТЧИКА ІНТЕНСИВНОСТІ ПИЛОВІДКЛАДЕННЯ ДПП-1

Після проведення досліджень з розробки методу контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках і пристрої датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1, результати яких наведені в попередніх розділах, був проведений комплекс робіт по постановці виробу на серійне виробництво. Роботи проводилися в кілька етапів:

- Розробка технічних умов на виготовлення датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.
- Розробка керівництва по експлуатації датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1.
- Проведення стендових випробувань датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 по встановленню працездатності та відповідності технічної документації.
- Проведення шахтних випробувань датчика ДПП-1 по встановленню працездатності та експлуатаційних властивостей ДПП-1.

Для постановки датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 на серійне виробництво, на основі виконаних науково-дослідних і експериментальних робіт, діючих стандартів і нормативів, аналізу передових досягнень і технічного рівня вітчизняної та зарубіжної техніки і патентної документації, повинна бути складена необхідна технологічна документація. Результати проведеного комплексу робіт наведені нижче.

4.1. Розробка технічних умов на датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1

Розроблені технічні умови (Додаток №1) поширюються на датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1 (далі по тексту - ДПП-1).

Наведемо коротко основні вимоги до виготовлення ДПП-1.

ДПП призначений для дистанційного безперервного контролю інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках і повинен застосовуватися в складі загальношахтних систем моніторингу рудничної атмосфери, що дозволить контролювати пиловибухобезпеки гірничих виробок, своєчасно проводити заходи щодо зниження запиленості та забезпечить виконання вимог Правил безпеки у вугільних шахтах.

ДПП призначений для експлуатації в підземних виробках шахт, небезпечних за газом, пилом і раптовими викидами. Кліматичне виконання по ГОСТ 15151-69 УХЛ 5.1 для роботи в діапазоні температур від $+ 5^{\circ} \text{C}$ до $+ 35^{\circ} \text{C}$ і відносній вологості 98% при температурі $+ 35^{\circ} \text{C}$

Наведемо основні параметри і характеристики датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1

ДПП-1 повинен відповідати вимогам ГОСТ Р 51330.0-99, ГОСТ Р 51330.1-99, ГОСТ Р 51330.10-99, справжніх технічних умов і комплекту конструкторської документації згідно ДПП 00.000. Всі матеріали і комплектуючі вироби, що застосовуються при виготовленні ДПП, повинні відповідати чинним на них стандартам або технічним умовам і підтверджені відповідними паспортами. Зовнішній вигляд ДПП повинен відповідати вимогам конструкторської документації ДПП 00.000.

Основні показники призначення ДПП-1 повинні відповідати даним, зазначеним у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1
Основні показники датчика

№ п/п	Найменування показників	Величина
1.	Поріг чутливості	1г1мг
2.	Діапазон вимірювання	1-100 г/м2

3.	Повна погрешність	5-10%
4.	Вихідний сигнал	аналоговий (0,4-2)V.
5.	Маса	не більш 8,0 кг
6.	Габаритні розміри	не більш-350x230x105 мм

ДПП-1 повинен забезпечувати виконання функцій:
 безперервне вимірювання інтенсивності відкладення пилу;
 передачу результатів вимірювання у вигляді стандартного аналогового сигналу (0,4 - 2,0) В в загальношахтного систему моніторингу рудникової атмосфери;
 видачу сигналу про досягнення встановленого аварійного значення інтенсивності відкладення пилу.

ДПП-1 повинен мати вибухобезпечний рівень вибухозахисту, який забезпечувався б видом вибухозахисту «Іскробезпечне електричне коло» по ГОСТ Р 51330.10-99, маркування по вибухозахисту - РВ ExialX по ГОСТ Р 51330.0-99. ДПП-1 повинен мати виконання по захищеності від навколишнього середовища - IP54 по ГОСТ 14254-96.

Конструктивно ДПП повинен бути виконаний у вибухобезпечному корпусі відповідно до вимог ГОСТ Р 51330.0-99 і ГОСТ Р 51330.1-99, мати надійне кріплення у виробленні і можливість переміщення по мірі необхідності (посування лави, забою і т.д.).

На поверхні ДПП-1 повинна бути прикріплена табличка з ГОСТ 12971-67, стійка щодо корозії.

Транспортне маркування повинне відповідати ГОСТ 14192-77.

Упаковка ДПП-1 повинна проводитися відповідно до вимог документації підприємства-виготовлювача і з дотриманням вимог ГОСТ 9.014-78, ГОСТ 23216-78 і ГОСТ 23170-78.

ДПП-1 повинен відповідати вимогам ГОСТ 21130-75, ГОСТ Р51330.0-99, ГОСТ Р 51330.1-99, ГОСТ Р 51330.10-99, ПБ 05-618-03. Всі вихідні електричні ланцюги ДПП-1 повинні бути іскробезпечні рівня «і» по ГОСТ Р 51330.10-99. На зовнішні металеві частини ДПП-1 не повинно потрапляти електрична напруга

небезпечне для обслуговуючого персоналу. При монтажі на об'єкті, налагоджувальних і перевірочних роботах, а також при експлуатації ДПП-1 в умовах шахт, необхідно виконувати відповідні пункти вимог «Правил безпеки у вугільних шахтах» ПБ 05-618-03 і «Правил технічної експлуатації вугільних шахт». Всі роботи по заміні вузлів і елементів в пристроях ДПП-1 повинні проводитися при відключеній напрузі живлення.

4.2. Розробка керівництва по експлуатації датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1

Керівництво по експлуатації призначене для вивчення датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1 і містить опис його пристрою і принципу дії, а також технічні характеристики та інші відомості, необхідні для правильної експлуатації.

Наведемо коротко основні інструкції по експлуатації ДПП-1. Повний текст документа наведено в Додатку №1.

Умови експлуатації:

температура навколишнього середовища від 0 до + 35 ° С;

відносна вологість повітря $(98 \pm 2)\%$, при температурі $(35 \pm 3) ^\circ \text{C}$;

атмосферний тиск 88-120 кПа;

вміст вуглекислого газу в об'ємних частках до 2%;

швидкість руху газоздушного потоку до 6 м / с;

Підготовка до роботи

Після вилучення ДПП з упаковки, якщо температура транспортування або зберігання була нижче нижньої межі робочої температури, ДПП необхідно витримати при нормальній температурі протягом однієї години.

Перед установкою ДПП в шахті необхідно перевірити його працездатність на поверхні:

ДПП підключити до джерела живлення і до цифрового вольтметру;
на приймальню платформу помістити по черзі кілька вантажів (від 1 до 100 мг);

маса вантажу, розміщеного на приймальню платформу повинна відображатися на дисплеї цифрового приладу, вбудованого в корпус ДПП;

напруга сигналу на цифровому вольтметрі має збільшуватися пропорційно збільшенню маси вантажу

Для розстановки ДПП в гірничій виробці вибираються ділянки, найбільш важкі за пиловим чинником.

ДПП розставляються на висоті, яка дорівнює одній третині від висоти виробки уздовж боків виробки в 10м від лави так, щоб їх прийомні платформи були екрановані від вентиляційного струменя елементами кріплення або іншими предметами.

За допомогою гвинтових ніжок проводиться регулювання установки ДПП-1 в горизонтальне положення, що перевіряється за допомогою рівня.

Підключити ДПП-1 до висновку постійної напруги джерела живлення і до загальношахтної системи моніторингу рудничної атмосфери за допомогою зовнішніх кабелів.

Порядок роботи

Привести ДПП в робочий стан, включивши подачу живлення від джерела СіП.

Під час відкладення пилу на приймальний майданчик ДПП-1 диспетчер фіксує інтенсивність відкладення пилу по монітору обещешахтной системи моніторингу

рудничної атмосфери для своєчасного прийняття рішення про проведення заходів щодо зниження запиленості рудникової атмосфери.

випадку накопичення маси пилу на приймальному майданчику ДПП-1, що відповідає аварійному значенням, загальношахтного система моніторингу видає сигнал на відключення системи електропостачання.

Після проведення заходів щодо зниження запиленості рудникової атмосфери з приймальної платформи ДПП видаляється накопичена пил і ДПП знову включається в роботу.

Заходи безпеки

Експлуатувати світильники мають право особи, ознайомлені з цим посібником з експлуатації, котрі засвоїли правила експлуатації світильників.

ДПП повинен бути закріплений за особою, яка несе за нього відповідальність, атестованим і допущеним наказом адміністрації підприємства до роботи

З ним забороняється:

- робота з ДПП при пошкодженні корпусу.
- відкривати ДПП у вибухонебезпечній зоні.

4.3 Стендові випробування датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1

Стендові випробування датчика ДПП-1 проводилися з метою визначення: відповідності дослідного зразка ДПП-1 вимогам технічної документації (технічних умов ТУ 3148-065-00173829-07, конструкторської та експлуатаційної документації);

працездатності приладу;

похибки вимірювання поверхневої густини пилу;

можливості подальшого використання дослідного зразка на вугільних підприємствах України.

На випробуваннях представлений експериментальний зразок датчика інтенсивності пиловідкладення ДІП-1. Випробування проводилися в один етап відповідно до «Програми і Методики випробувань датчика інтенсивності ДІП-1» на експериментальному стенді ЕС-1.

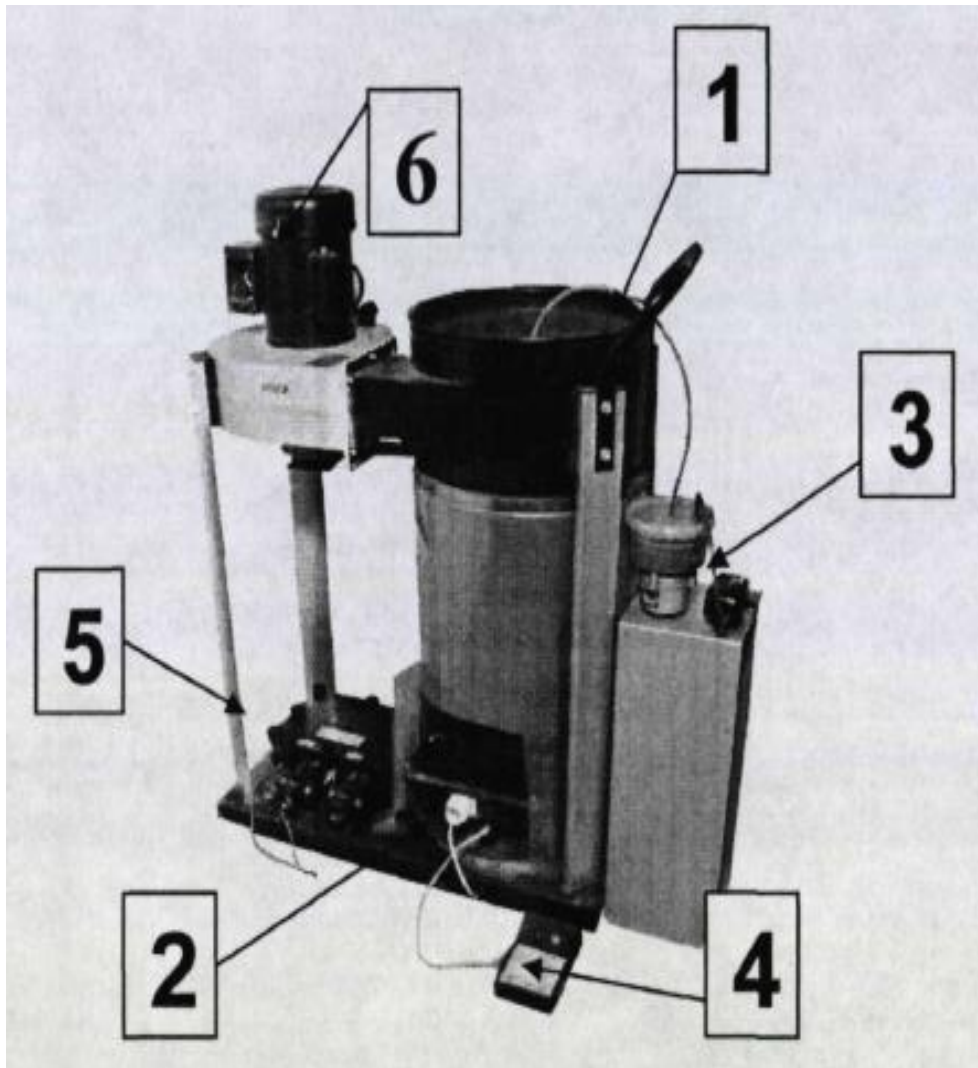


Рис. 4.1. Загальний вигляд експериментального стенду ЕС-1.

1-пилова камера; 2-датчик інтенсивності пиловідкладення ДІП-1; 3-генератор пилоповітряної аерозолі; 4 аналізатор фізичних параметрів АФП; 5-джерело живлення; 6-вентилятор

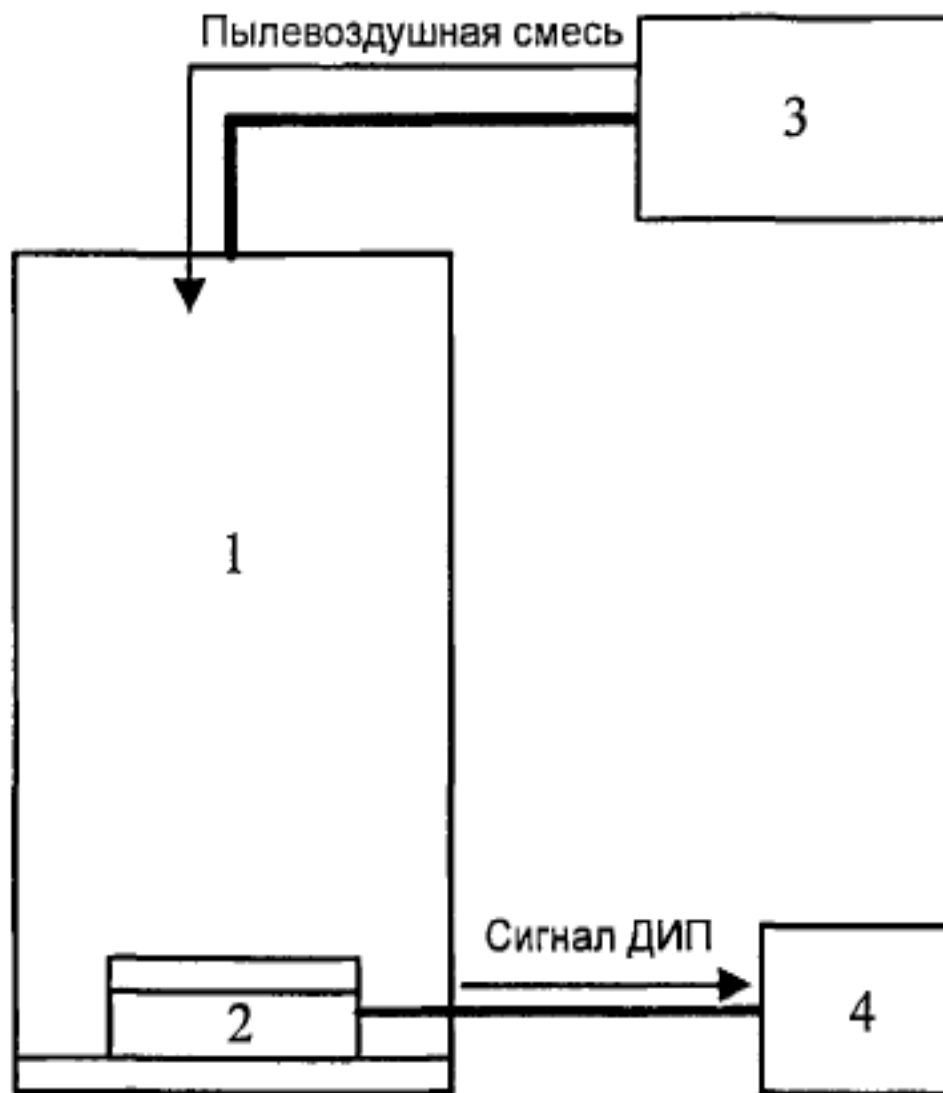


Рис.4.2. Функціональна схема експериментального стенду ЕС-1 1-пилова камера; 2- датчик інтенсивності пиловідкладення ДІП-1; 3-генератор пилоповітряної аерозоліу ГПА; 4 аналізатор фізичних параметрів АФП

ЕС-1 (рис.4.1, 4.2) являє собою пилову камеру - 1, оснащену генератором пилоповітряної суміші ГПА - 3 і аналізатором фізичних параметрів АФП - 4. ГПА (рис. 4.3) здійснює приготування та подачу пилового аерозоліу в пилову камеру. Ступінь подрібнення пилу регулюється тривалістю і частотою обертання виконавчого органу камери приготування пилоповітряної суміші -1.

Контроль дисперсності пилу проводився на ситах. До досвіду приймалася пил, яка на 100% проходить через сито з розміром осередків > 60 мкм, і на 60% через

сито з розміром осередків <74 мкм. Інтенсивність подачі пилю в камеру стенда ЕС-1 регулювалася кількістю повітря, що продувається через КППС.

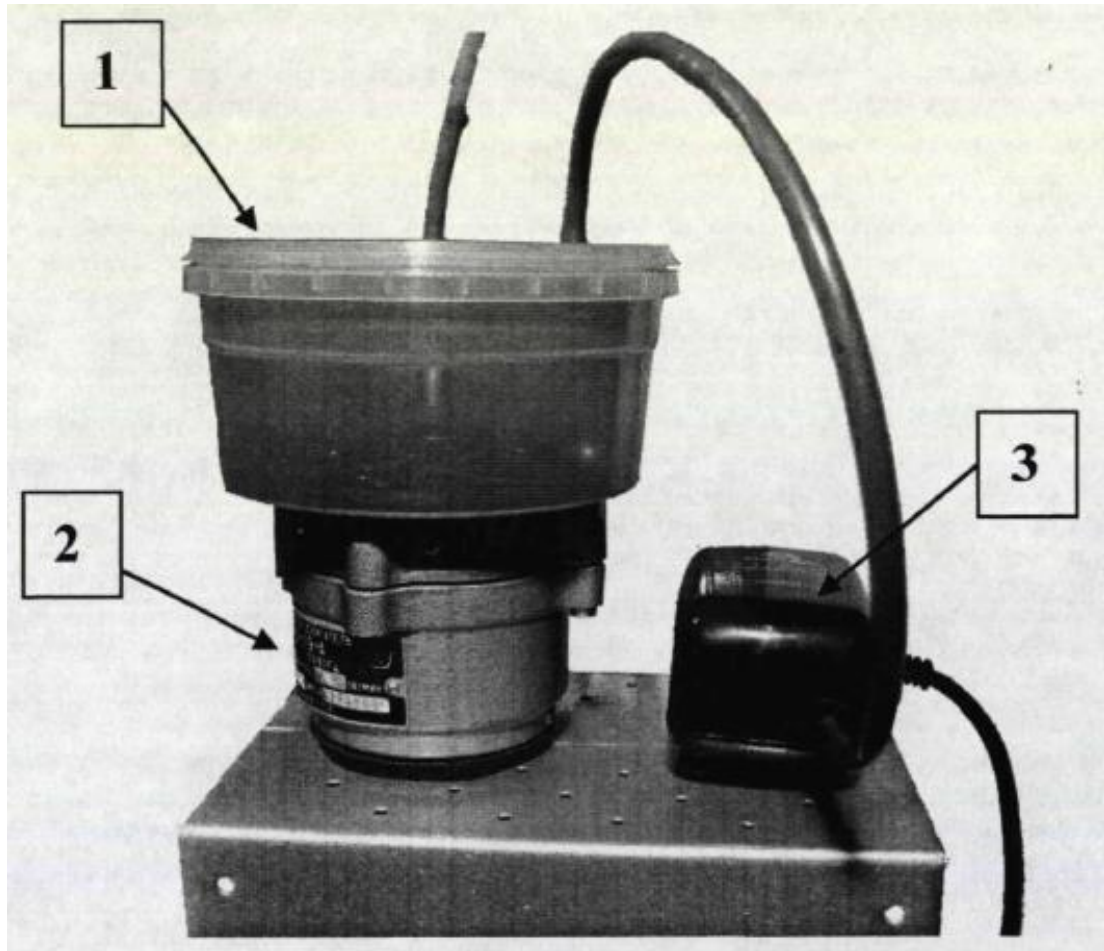


Рис.4.3. Генератор пилоповітряної суміші ГПС
1-камера приготування пилоповітряної суміші; 2-двигун; 3-компресор.

Анализатор физических параметров АФП (рис.4.4.) осуществляет сбор, обработку, хранение и передачу на персональный компьютер данных, поступающих с датчика ДИП-1. Сигнал с ДИП-1 поступает на один из входов многоканального АЦП -1. Результат аналого-цифрового преобразования передается в энергонезависимое ПЗУ-2. Блок передачи информации БПИ - 3 представляет собой асинхронный приемо-передатчик UART и осуществляет передачу данных на ПК по интерфейсу RS232.

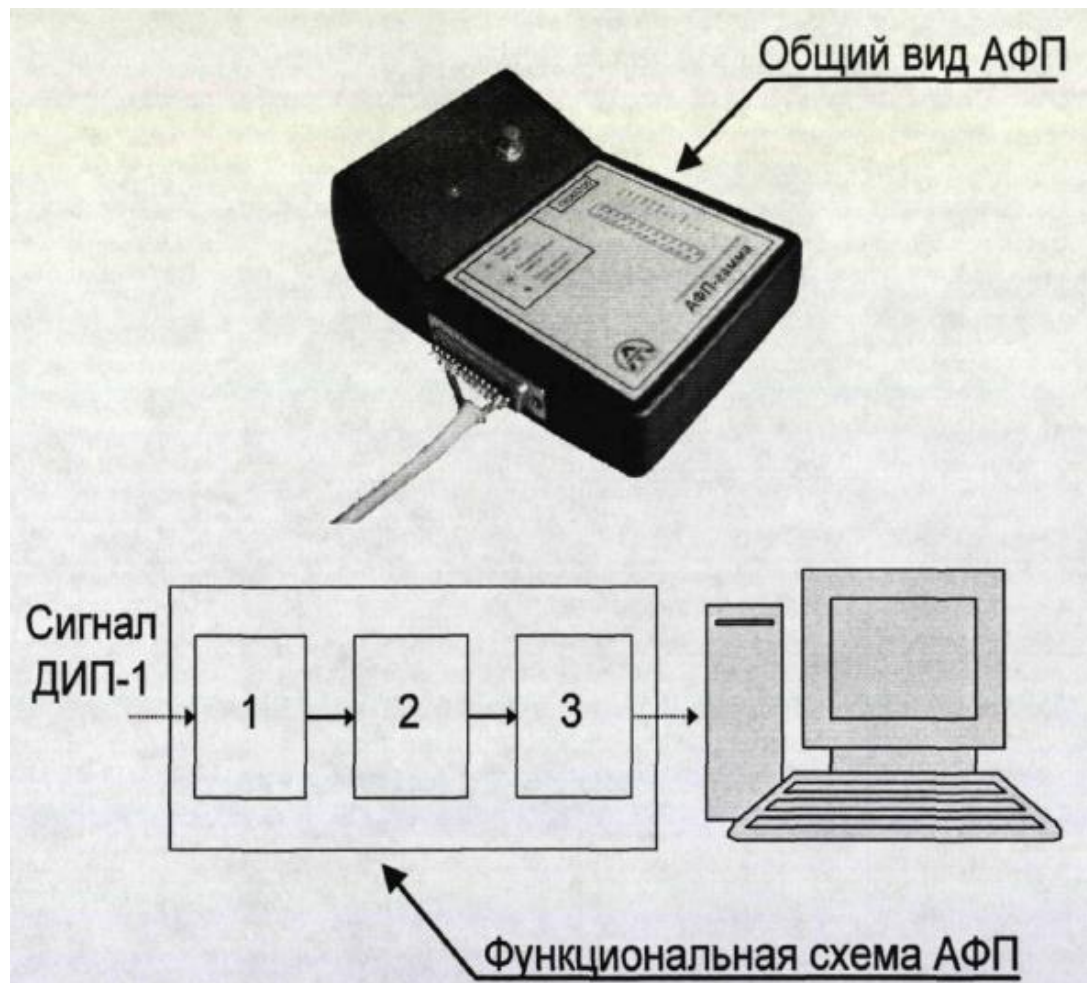


Рис.4.4 Загальний вигляд і функціональна схема аналізатора фізичних параметрів АФП

1-аналого-цифровий перетворювач АЦП; 2 постійний запам'ятовуючий пристрій ПЗУ; 3-блок передачі інформації БПИ.

4.3.1. Перевірка працездатності ДПП-1

Порядок проведення випробувань полягав у наступному: формована ГПА пилоповітряна суміш подавалася в пилову камеру, на дні якої встановлювався датчик ДПП-1. Після включення ДПП-1 в роботу результат вимірювання поверхневої густини пилу з його виходу, у вигляді аналогового сигналу (0,4-2V), надходить на один з каналів АЦП аналізатора фізичних параметрів АФП. Процес пиловідкладення записується в ПЗУ АФП.

Перевірка працездатності ДПП-1 проводилася при двох значеннях інтенсивності подачі пилоповітряної суміші в пилову камеру $Q_1 = 6 \text{ мг / хв}$ і $C > 2 = 2 \text{ мг / хв}$. Випробування проводилися протягом 6 годин.

Інтенсивність подачі пилу визначалася таким чином: пилоповітряна суміш, яка формується ГПА подавалася в контрольну ємність з відомою масою протягом фіксованого проміжку часу. маса пилу контрольної ємності визначалася на еталонних вагах. Певне значення інтенсивності роботи компресора фіксувалося і приймалося для досвіду.

Внаслідок випробувань були отримані часові діаграми процесу накопичення пилу на платформі ДПП-1. (Рис.4.5).

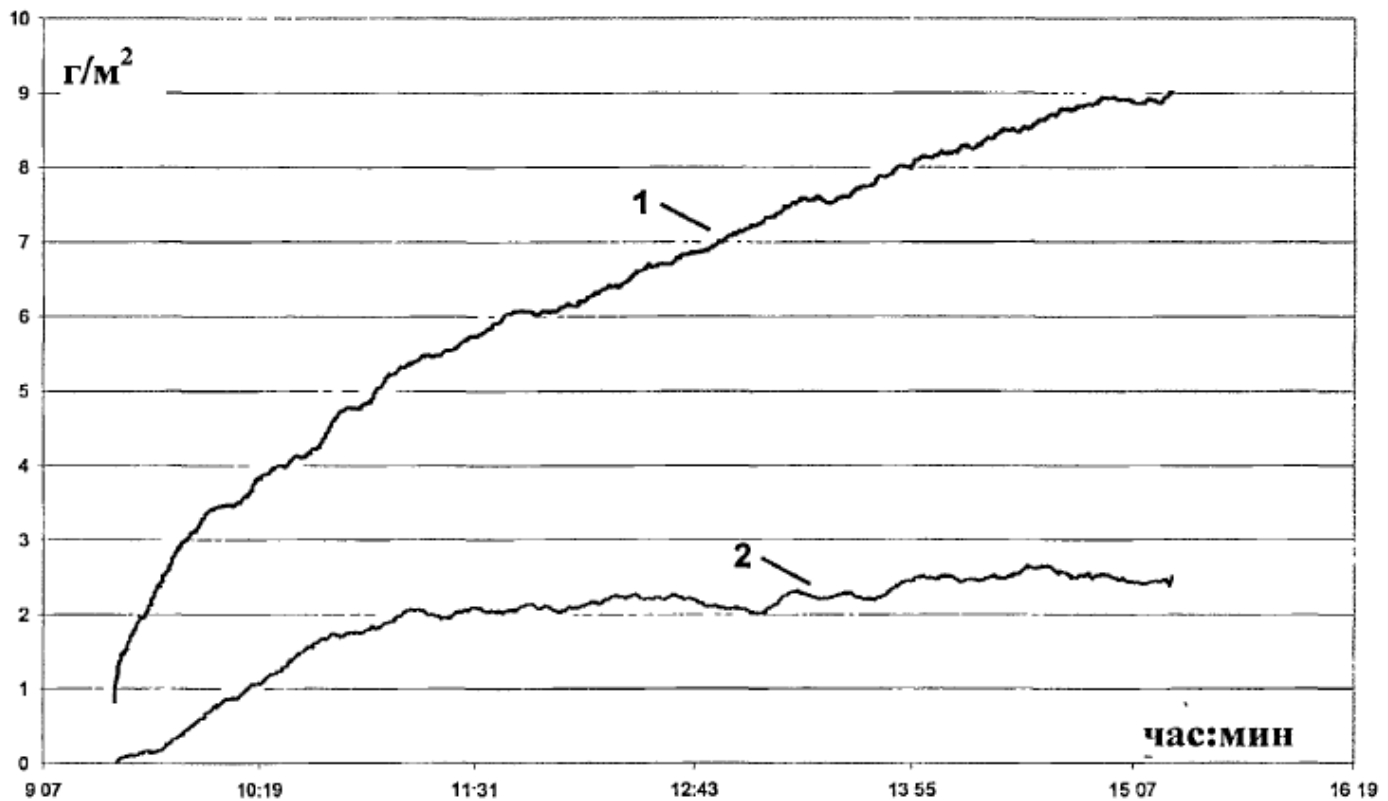


Рис.4.5. Часові діаграми процесу накопичення пилу на платформі

Аналіз результатів випробувань показав, що стабільність роботи чутливого елемента ДПП-1 дозволяє здійснювати безперервний моніторинг інтенсивності пиловідкладення протягом однієї або декількох змін.

4.3.2 Определение похибки вимірювання ДП-1

Для визначення похибки вимірювання поверхневої густини ДП-1 були проведені випробування, методика проведення яких приведена нижче. На дно пилової камери встановлювався датчик ДП-1 і аналітичні фільтри аерозольні (АФА) (рис. 4.6).

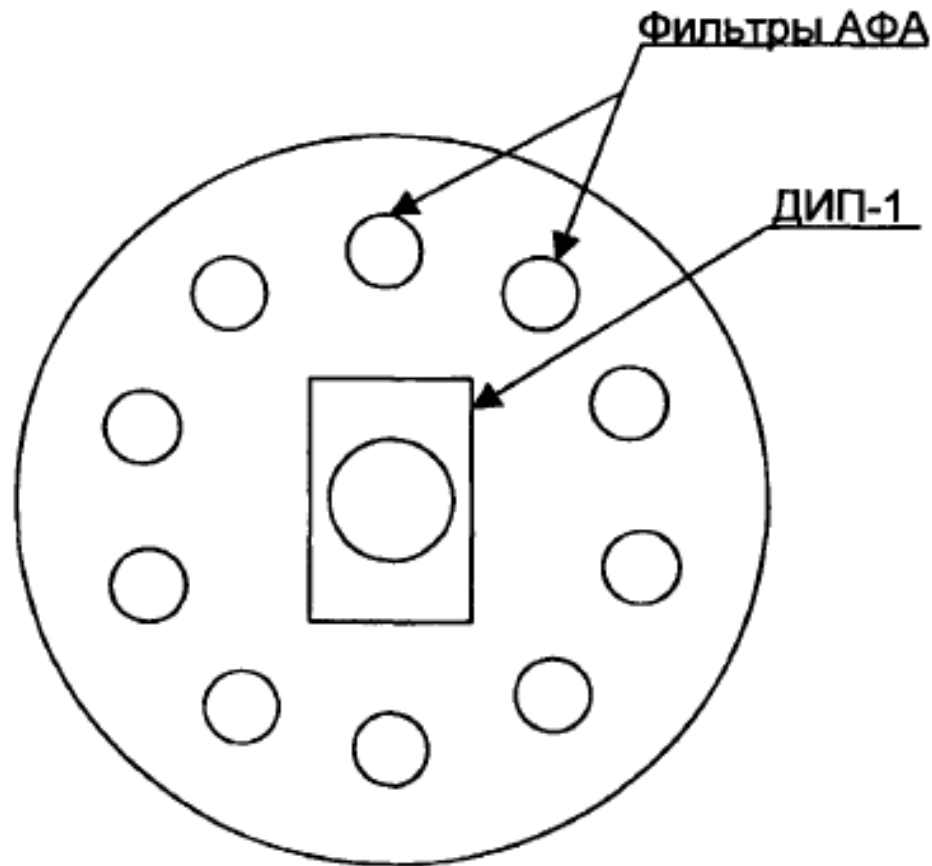


Рис.4.6 Схема установки фільтрів АФА в пиловій камері експериментального стенду ЕС-1. Вид зверху.

Датчик ДП-1 і експериментальний стенд ЕС-1 включалися в роботу. Через фіксовані проміжки часу після початку експерименту фільтри АФА виймалися з пилової камери стенду ЕС-1 і зважувалися на еталонних вагах.

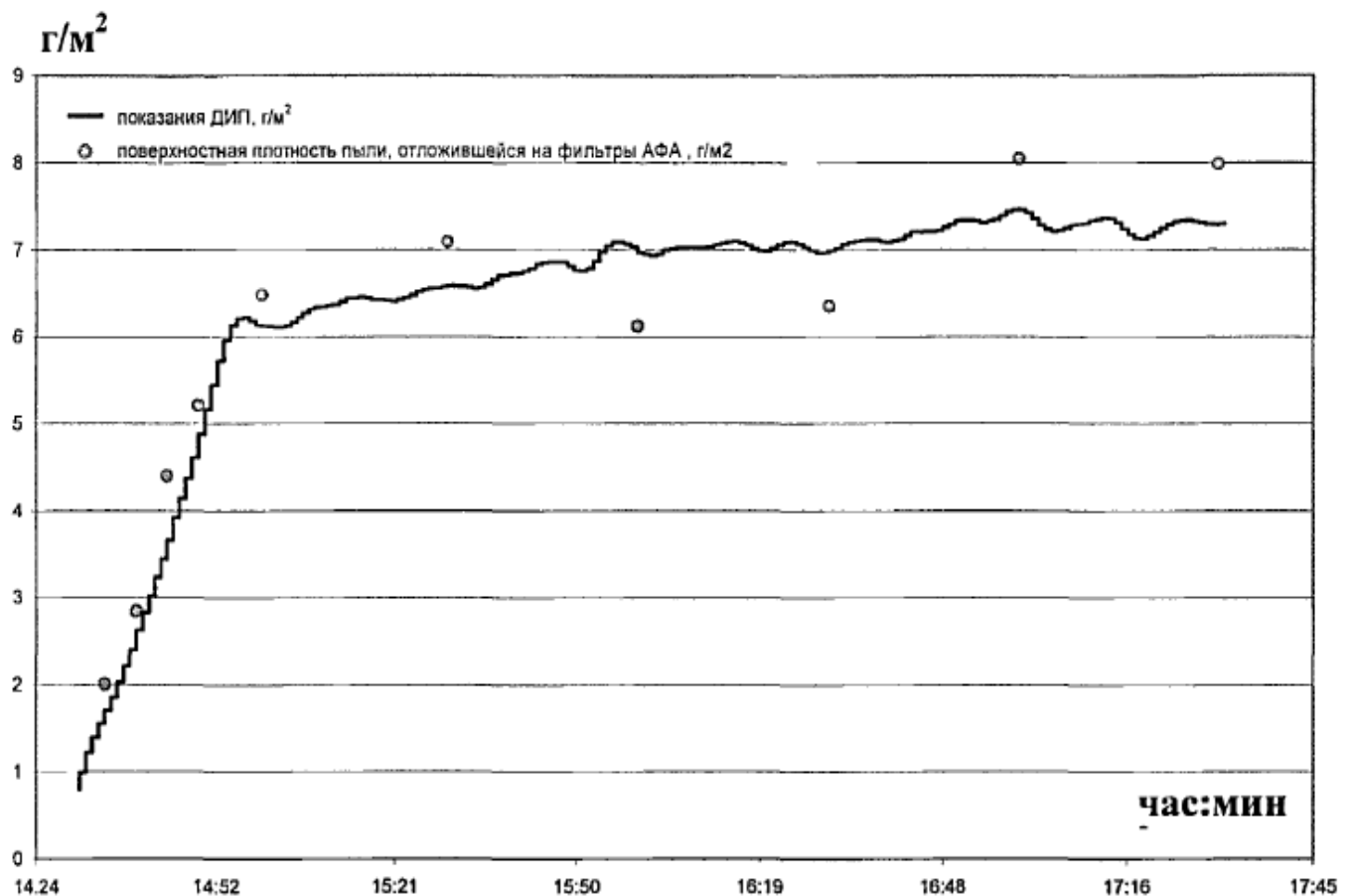


Рис.4.7 Тимчасова діаграма процесу накопичення пилу.

- - свідчення ДІП, г/м²;

Про - поверхнева щільність пилу, що відклався на фільтри АФА, г / м.

Результати вимірювання поверхневої густини, відклався на приймальні платформи ДІП-1 і на фільтрах АФА, наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1
Результати стендових випробувань датчика ДІП-1

Время измерения, мин	№ фильтра АФА	массы чистого фильтра, г	Масса фильтра с пылью, г	Масса привеса, г	Поверхностная плотность пыли, отложенной на фильтр, г/м	Показания датчика, г/м ²
5	1	0,566	0,569	0,003	2,008	2,055
10	2	0,570	0,575	0,005	2,848	3,054
15	3	0,586	0,594	0,008	4,401	4,153
20	4	0,590	0,599	0,009	5,215	5,509

30	5	0,580	0,592	0,012	6,479	6,125
60	6	0,585	0,598	0,013	7,088	6,574
90	7	0,573	0,584	0,011	6,118	6,941
120	8	0,548	0,559	0,011	6,351	7,024
150	9	0,544	0,559	0,015	8,049	7,390
180	10	0,571	0,585	0,014	7,987	7,307

Аналіз результатів експерименту показав, що похибка вимірювання поверхневої густини пилу у всьому діапазоні вимірювання не виходить за межі 15%.

За результатами стендових випробувань встановлено наступне:

стабільність роботи чутливого елемента ДПП-1 дозволяє здійснювати безперервний моніторинг інтенсивності пиловідкладення протягом однієї або декількох змін;

похибка вимірювання поверхневої густини пилу змінювалася в межах 15%;

випадків відмов датчика ДПП-1, в процесі випробувань протягом 80 годин не виявлено.

4.3.3 Визначення залежності ступеня виносу пилу, що відклався на приймальню платформу датчика ДПП-1 від швидкості руху повітря

Для оцінки впливу швидкості руху повітря у виробці на винесення пилу, що відклався на приймальню платформу датчика ДПП-1, були проведені дослідження, методика проведення яких приведена нижче.

Процес переходу пилу в аерозольний стан під дією повітряного потоку пояснюється наступним чином.

На частку, отложившуюся в придонному частини потоку, діють дві аеромеханічні сили:

- а) лобове тиск, пов'язаний з обтіканням частки;
- б) підйомна сила, пов'язана з різницею швидкостей вище і нижче частки.

Співвідношення цих сил залежить від розташування частинки: чим вище частка розташовується щодо сусідніх, тим більшим буде вплив її лобовій сили. Частка може підніматися на висоту, яка визначається величиною миттєвого

перевищення лобовій і підйомної сили, або менш суворо, підйомної сили над силами тяжіння і зчеплення.

При цьому, чим вище початковий підйом частки, тим більша ймовірність захоплення її потоком, так як значення турбулентних пульсацій різко зростають при видаленні від кордонів потоку до максимальної величини.

Відрив і підйом частки в загальному випадку визначається величиною і часом дії підйомної сили, тобто імпульсу підйомної сили. При цьому існує деякий критичний імпульс сили і пропорційна йому критична швидкість потоку, нижче яких здування не відбувається. Авторами [48,66] встановлено, що запиленість повітря за рахунок здування залежить від різниці

$$V - V_{кр},$$

где $V_{кр}$ – критична швидкість.

Как показали шахтные эксперименты [48,55],

$$V_{кр} \geq \frac{10,1}{S}$$

где S – площа попересного перетину виробки, m^2

Однак вираз (4.1) не можна механічно переносити для опису процесу здування відкладеного пилу на приймальний майданчик датчика ДПП-1 оскільки величина турбулентних пульсацій буде в значній мірі залежати від місця установки приймальної платформи.

Раніше виконаними дослідженнями було показано, що величина середньоквадратичного значення поперечної швидкості пульсацій крім середньої швидкості руху повітря, в значній мірі буде залежати від координат її виміру в перерізі виробки [70].

$$\sqrt{V_y'^2} = 0,1 \bar{V} \left[1 + 1,72 \left(\frac{y^2 + z^2}{R_e} \right) \right] \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

где V – середня швидкість руху повітря у виробці m/s ;

у, z - координати точки сечення, м;

Rg - гідравлічний або еквівалентний радіус виробки.

Аналіз рівняння (4.2) показав, що величина середньоквадратичного значення поперечної швидкості пульсацій може змінюватися більше ніж на порядок - від 0,01 до 0,19 м / с. Тому необхідно було встановити ступінь впливу параметрів вентиляційного струменя на винесення пилу, що відклався, на приймальній платформі датчика.

Оскільки в шахтних умовах широке експериментування зі зміною швидкостей руху повітря у виробках зустрічає певні труднощі, дослід з вивчення виносу пилу проводилися в лабораторних умовах на експериментальному стенді ЕС-1.

Пил, насипалася тонким шаром на приймальну платформу датчика, для імітації шорсткою поверхні використовувалася наждачний папір з розміром зерна 100 мкм. Порядок проведення дослідів був наступний.

Маса пилу визначалася зважуванням приймальної платформи датчика на лабораторних вагах до і після нанесення пилу. Після цього приймальна платформа датчика встановлювалася в експериментальному стенді ЕС-1. Після включення вентилятора проводилася продування протягом 1 хв. При проведенні досліджень з вологою пилом, як і в попередніх дослідях, на поверхню пластинки наносилася пил і визначалася її маса.

Очевидно, середня запиленість повітря при роботі вентилятора складе

$$C = \frac{m_{\text{НАЧ}} - m_{\text{КОН}}}{Q},$$

де УПНАЧ - маса пилу, що знаходиться на платівці до проведення досвіду, г;

Ткон - залишкова маса пилу на платівці, г;

Q - кількість повітря, що минув, над платівкою, м³

Оскільки визначити частку минулого повітря, що бере участь в здуванні пилу, дуже важко, як критерій, що характеризує винос, більш доцільно застосовувати

показник кількісно виражає частку видуває пилу (приймаючи початкову масу за одиницю).

Як показали результати обробки отриманих даних, процес здування пилу з пластинки досить точно описується виразом

$$J = \frac{m_{\text{НАЧ}} - m_{\text{КОН}}}{m_{\text{НАЧ}}} ,$$

де Φ - функція Лапласа, K_1 , K_2 - експериментальні коефіцієнти. Зазначену закономірність можна пояснити наступним чином, як вже зазначалося вище, здування часток пилу з поверхонь починається при швидкості потоку, більшою деякого критичного значення. При цьому значенні частки відриваються від поверхонь, але не захоплюються потоком. При швидкості руху потоку вище критичної ймовірність захоплення частки потоком приблизно дорівнює ймовірності перевищення миттєвого значення вертикальної швидкості значення швидкості осідання частинки V_s .

Оскільки кількість частинок, а отже, і запиленість повітря в загальному випадку пропорційні величині захоплення (часток частинок, захоплених потоком) можна написати

$$J = K_1 - K_2 \Phi\left(\frac{1}{\bar{V}^2}\right),$$

де P - ймовірність.

V_x - миттєве значення вертикальної швидкості.

З (4.6) можна отримати

$$C \sim \int_{V_s}^{\infty} f(V_{\perp}) dV_{\perp} ,$$

де $f(V_{\perp})$ - щільність розподілу значень вертикальної швидкості.

Оскільки захоплення частинок відбувається поза ламинарного підслюя, то можна вважати, що миттєві значення вертикальної швидкості розподілені нормально. При цьому середньоквадратическим відхиленням буде поперечна середньоквадратическая пульсація, а математичне очікування миттєвої швидкості дорівнюватиме нулю, тобто

$$f(V') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}V'_y} \exp\left(-\frac{V_{\perp}^2}{2V_y'^2}\right).$$

З урахуванням (4.8) вираз (4.7) приймає вигляд

$$C \sim \int_0^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}V'_y} \exp\left(-\frac{V_{\perp}^2}{2V_y'^2}\right) dV_{\perp},$$

звідки

$$C \sim 1 - \Phi\left(\frac{V_s}{V_y'^2}\right),$$

де V - середня швидкість потоку, можна записати

$$C \sim J,$$

Ясно, що при інших рівних умовах

$$J = K_1 + K_2 \Phi\left(\frac{I}{\bar{V}^2}\right).$$

На рис.4.8 наведені результати дослідів. Коефіцієнти K_1 і K_2 складають для гладкої поверхні і сухого пилу відповідно 1,063 і 11,799; для гладкої поверхні і вологою пилу - 0,692 і 8,744; для шорсткою поверхні і сухого пилу - 0,52 і 7,246; для

шорсткою поверхні і вологою пилу - 0,375 і 5,246 відповідно. Значення критерію Колмогорова лежать в діапазоні 0,711- 0,964.

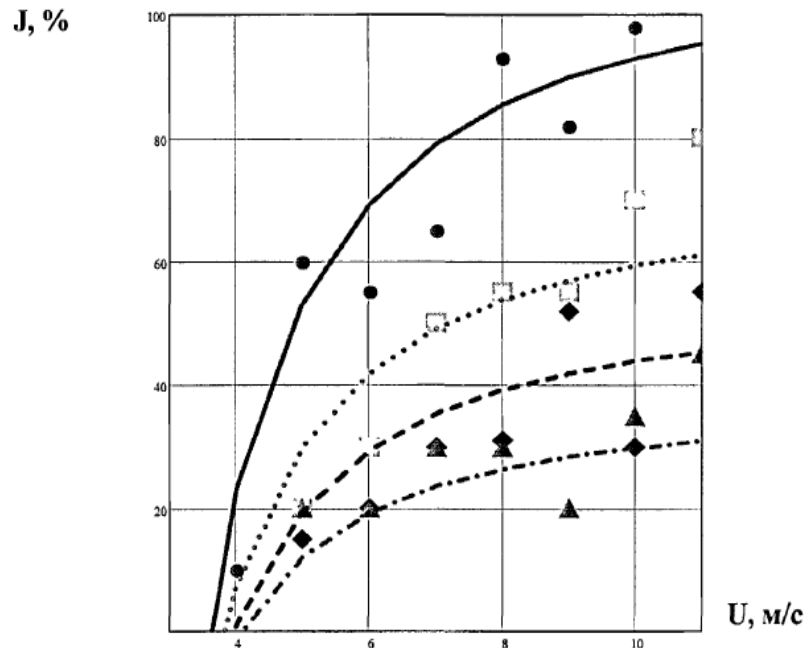


Рис. 4.8 Зміна маси пилу на приймальні платформи датчика ДПП-1 в залежності від швидкості руху повітря: гладка поверхня, суха пил - - емпірична крива, • - експериментальні дані, гладка поверхня, волога пил - ' "емпірична крива, Щ експериментальні дані; шорстка поверхня, суха пил - емпірична крива, • ^ • - експериментальні дані; шорстка поверхня, волога пил - '- "емпірична крива, ^ г експериментальні дані

Як видно на рис. 4.8, ступінь виносу пилу в значній мірі залежить від вологості пилу і шорсткості поверхні її відкладення, що потребують для виробок зі швидкостями руху вентиляційного струменя, що перевищують критичні значення, застосування підкладок з виступами шорсткості, рівними 100 мкм, і введення поправочного коефіцієнта в програму обробки даних ДПП-1.

4.4. Шахтні випробування датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП 1

Випробування експериментального зразка датчика ДПП-1 проводилися на шахті «Алмазна» ДП «Добропіллявугілля-видобуток». Вугільний пласт,

розробляється шахтою, залягає в слабких бічних породах, представлених глинами і дрібнозернистими пісками. Вугілля пласта бурий, підвищенозернистий (2-5%), з нижчою теплотою згоряння робочого палива Дж/кг і вологістю 32%, із середнім вмістом летких речовин 46%.

Пласт має складну будову. Розділяє прослоєм вугільних пачок є вуглистий сланець потужністю 0,3-0,5 м. Вугілля середньої міцності з невеликим включенням колчедана у вигляді лінз і зерен. Зольність пласта в межах кондицій і не перевищує 42,0%.

Випробування проводилися в лаві «західна», розташованій на північній панелі західного крила шахтного поля.

Довжина лави -100,0м;

Потужність вугільного пласта:

середня геологічна - 2,9 м;

середня виймається - 2,6 м.

Схема провітрювання добувних ділянок лави - возвратноточная з вихідним струменем, сонаправленими з вантажопотоком відбитого вугілля.

Умови проведення випробувань повністю відповідали вимогам технічного завдання, програми та методики приймальних випробувань

Вантажний пункт лави західної розташований на сполученні 123-біс західного конвеєрного штреку з 6 північним гл.откаточним штреком. Всі операції на вантажному пункті механізовані. Вугілля з лави на вантажний пункт транспортується стрічковим конвеєром 2ЛТ-80. Привід конвеєра розташований в камері на сполученні 123-біс західного штреку з заїздом зі сторони 6 північного гл. відкатувального штреку (з порожнякової боку роз'їзду).

Для завантаження шахтних вагонеток ВГ-3.3-900 змонтовано міжвагонних перекриття типу перекидний лоток ПЛ-1 з гідравлічним приводом. В аварійних випадках передбачено наявність важеля для перекидання лотка вручну. Протягування вагонеток на вантажному пункті здійснюється підвагонними електричним штовхачем ПЕТ -4А.

Пульт управління вантажним пунктом розташований в окремій ніші, розташованій з порожнякової боку поза зоною запиленості при навантаженні вугілля. Крім того, в районі розташування оператора є вентиль включення зрошувального пристрою для придушення утворилася пилу. Вентиль включається вручну.

З метою безпечного виходу з конвеєрного штреку, до оператора навантажувального пункту змонтований сходовий перехід через завантажені вагони до оператора, як продовження вільного пересування людей уздовж конвеєрного става. Розміри переходу відображені в графічній частині паспорта. Між сходовим маршем і ставом конвеєра передбачено огорожа не дозволяє вихід людей на непрохідну сторону б сівши. гл.отк.ппрека.

Датчик ДПП-1 і платформа з фільтрами АФА встановлювалася у навантажувального пункту лави (рис. 4.9).

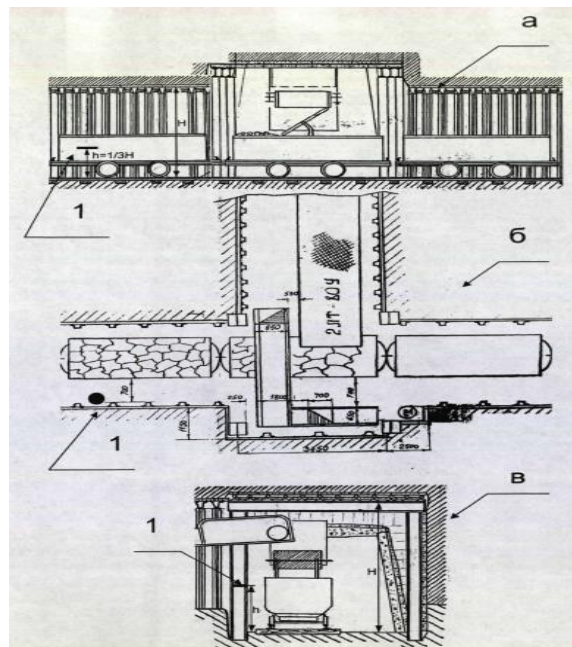


Рис.4.9. Вантажний пункт лави шахти «Алмазна»
- вид збоку; б - вид в плані; в - вид збоку по ходу вент, струменя
1 - місце установки датчика ДПП-1 і платформи з фільтрами АФА

Експериментальний зразок ДПП-1 встановлювався на висоті дорівнює одній третині від висоти вироблення так, щоб приймальня платформа НЕ екранувати від вентиляційного струменя, елементами кріплення або іншими предметами.

За допомогою гвинтових ніжок проводилася регулювання установки ДПП-1 горизонтальне положення, що перевірялося за допомогою рівня.

З одному з кабельних ввідів ДПП-1 підключався мережевий Іскробезпечний джерело живлення (рис.4.9), що забезпечує живлення ДПП-1 іскробезпечним напругою 12В і має вбудовану акумуляторну батарею для забезпечення можливості автоматичного перемикання на живлення від акумуляторної батареї при зникненні живлячої напруги. Через другий кабельний ввід ДПП-1 підключався до поверхневої АТС за допомогою телефонного кабелю. Аналізатор фізичних параметрів АФП розташовувався в диспетчерській і підключався до однієї з ліній поверхневої АТС (рис.4.10).

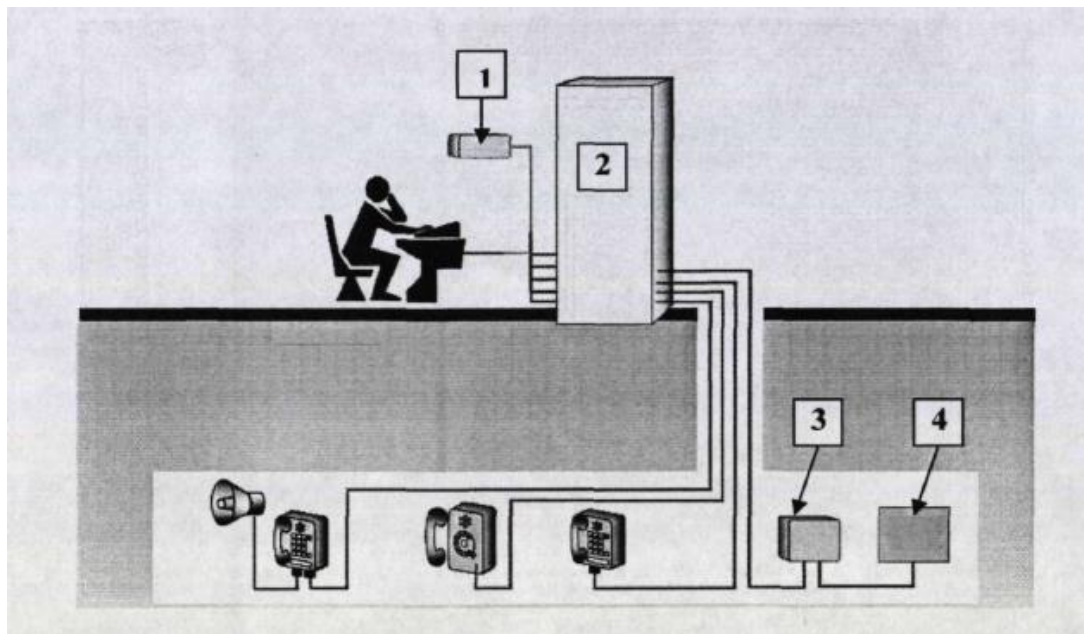


Рис.4.10. Схема підключення ДПП-1
1-аналізатор фізичних параметрів АФП; 2
поверхнева АТС; 3 ДПП-1; 4 джерело живлення.

Перевірка інтенсивності відкладення пилу проводилася протягом робочої зміни.

Після закінчення експерименту дані з ПЗУ АФП записувалися на жорсткий диск ПК. В результаті експерименту була отримана тимчасова діаграма процесу відкладення пилу на приймальний майданчик ДПП-1 (рис. 4.11). При розгляді отриманих діаграм зроблено висновок, що інтенсивність відкладення пилу контролювалася протягом всієї робочої зміни, посилення вихідного сигналу відбувалося паралельно зі збільшенням маси пилу, накопиченої на приймальній платформі ДПП.

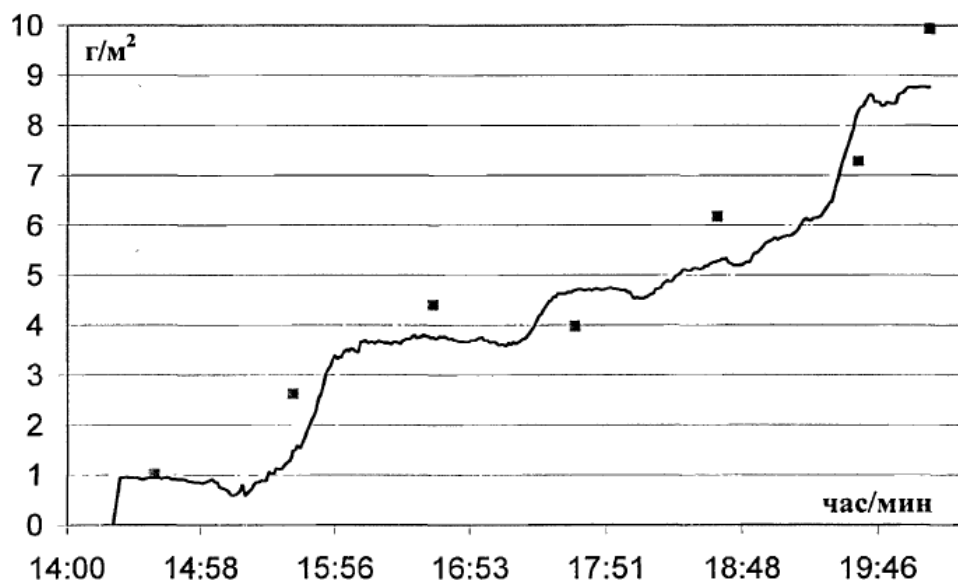


Рис.4.11. Тимчасова діаграма процесу відкладення пилу на приймальний майданчик ДПП-1

Для визначення похибки вимірювання поверхневої густини пилу датчиком ДПП-1 в шахтних умовах, проводилися виміри маси відкладеного пилу на фільтри АФА.

Аналіз результатів шахтних випробувань датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 показує, що похибка вимірювання поверхневої густини пилу змінювалася в межах 20%.

Висновки до розділу 4

Внаслідок проведеного комплексу робіт по постановці датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 на серійне виробництво встановлено наступне:

1 Розробтани технічні умови на датчик інтенсивності пиловідкладення ДПП-1.

Розроблено «Керівництво по експлуатації датчика інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1» 00.000 РЕ.

За результатами стендових випробувань встановлена можливість вимірювання поверхневої густини відкладеного пилу датчиком інтенсивності пиловідкладення ДПП-1. Випадків відмов датчика ДПП-1, в процесі випробувань протягом 80 годин не виявлено.

За результатами шахтних випробувань датчика інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 підтверджена його працездатність в шахтних умовах. Похибка вимірювання поверхневої густини пилу змінювалася в межах 20%;

Рациональне значення виступів шорсткості, що забезпечує утримання пилу на приймальній платформі датчика ДПП-1 при максимальних швидкостях повітря, які спостерігаються в виробках, згідно п. 235 ПБ 05-618-03 становить 100 мкм.

ВИСНОВКИ

В ході проведених теоретичних і експериментальних досліджень сформульовані наступні висновки і результати кваліфікаційної роботи:

Встановлено, що серед методів вимірювання інтенсивності пиловідкладення, рекомендованих нормативними документами, метод "підкладок" є на порядок більш точним, ніж метод точкових вимірів концентрацій в перерізі виробки.

Встановлено, що основним фактором, що впливає на похибка вимірювання інтенсивності пиловідкладення у виробленні на підкладки, є місце установки їх по висоті вироблення.

Доведено, що мінімум похибки вимірювання поверхневої густини відкладеного пилу досягається при установці підкладки на відносній висоті вироблення, що дорівнює 0,3 і становить $\pm 20\%$.

Встановлено, що оптимальні значення координат установки датчиків інтенсивності пиловідкладення ДПП-1 по довжині виробки, які визначаються з використанням математичної моделі міграції частинок пилу, лежать в діапазоні 10 - 150 м для швидкостей руху повітря від 0,5 м/с до 4 м/с.

Встановлено залежність ступеня виносу відкладеного пилу з приймальної платформи датчика від швидкості руху вентиляційного струменя. Показано, що раціональне значення виступів шорсткості, що забезпечує утримання пилу на приймальній платформі датчика ДПП-1 при максимальних швидкостях повітря, які спостерігаються в виробках, згідно п. 235 ПБ 05-618-03 становить 100 мкм.

Розроблено датчик інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках ДПП-1 на основі прецизійних Мікроваги, що працює в важких шахтних умовах з похибкою, що не перевищує 20%, що містить апаратно-програмні засоби компенсації шкідливих факторів, що спотворюють результати вимірювання.

За результатами проведених стендових і шахтних випробувань підтверджена його працездатність і експлуатаційні якості.

Розроблено функціональну схему автоматизованої системи моніторингу інтенсивності пиловідкладення в гірничих виробках на основі датчиків інтенсивності пиловідкладення ДПП-1, застосування якої дозволить підвищити ефективність комплексу профілактичних заходів щодо боротьби з пилом і безпеку праці гірників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клебаков Ф.С., Зайденварг В.Е. Взрывоопасность угольных шахт: метод ретроспективной оценки и прогноза. Горный вестник, №2, 1994г., стр. 7-10.
2. Морев А.М., Поздняков Г.А. Иванов И.И. Взрывы газа и пыли в угольных шахтах. // Научные сообщения ННЦ ГП — ИГД им. А.А. Скочинского М., № 321/2001, с. 122-123.
3. Баскаков В.П. Методика снижения риска травм и аварий на угольных шахтах путем стандартизации производственного процесса. Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. УРАН ИПКОН РАН, 2009 , 147 с.
4. Левкин Н.Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины. Макеевка: МакНИИ, 2002. - 392 с.
5. Предупреждения и локализация взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А.В. Джигрин, Г.А. Поздняков, А.И. Новосельцев, А.П. Коренев. // Безопасность труда в промышленности, — 2009. - №4. - с.22. - 26.
6. НПАОП 10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. - К. Друкарня ДП «Редакція журналу «Охорона праці», 2010. - 430с.
7. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах. Бекирбаев Б.Д., Гродель Г.С., Гулынин П.А. и др. - М: Госгортехиздат, 1959 — 499с.
8. Поздняков Г.А., Закутский Е.Л. Процесс накопления пыли и контроль пылевзрывобезопасности горных выработок. Научные сообщения / ННЦ ГП - ИГД им. А.А. Скочинского М. 2007. -Вып. 321. - с 253-265.
9. Рассолов Н.И. Запыленность воздуха и пылеотложение в горных выработках шахт Донбасса. Бюллетень МакНИИ, 1956, №2.
10. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин. - М.: Недра, 1992 - 298с.
11. А.с. 1341547 (СССР). Прибор для измерения количества осевшей пыли / М.Д. Кривицкий, А.П. Дегтярев, В.И. Попсуев и др.: опупл., БИ. — 1987. №36.
12. Определение радиоизотопным методом содержания негорючих веществ при осланцевании выработок / М. Д. Кривицкий, А.П. Дегтярев, Е.П. Евдокимова, А.М. Горбунков // Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / МакНИИ. — Макеевка, 1988.- с.101 - 103.
13. Mobile rockduster // American Mining Congress Journal. — 1983. - №15 — P.12.
14. Бабков, СВ. Контроль соотношения угольных и инертных компонентов в пылевых смесях по способности отражения инфракрасного излучения // Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах / МакНИИ. — Макеевка , 1988. — С.112-118.
15. Либецкий К. Пылевые опасности в горнодобывающей промышленности / Главный институт горного дела, Польша. — Катовице, 2004 - 486с.

16. Поздняков Г.А. Патентные исследования по приборам контроля интенсивности накопления пыли и пылевзрывобезопасности горных выработок./ Отчет ГУА; М.: 2007г. 28с.
- 17.Поздняков Г.А., Обидова Л.Г., Иванов Ф.И. Состояние и перспективы пылевого контроля на угольных шахтах. Науч. сообщ. / ННЦ ГП — ИГД им. Скопинского. - М., 2005. - Вып. 330. - с. 39-46.
- 18.Кудряшев В.В., Воронина Л.Д., Шуринова М.К. / Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха. М.: Наука, 1979, 196 с.
- 19.Кудряшев В.В. Перспективы производства приборов пылевого контроля /В.В. Кудряшев, Г.А. Поздняков, Р.М. Нырцев., В.В. Соболев. «Безопасность труда в промышленности», 1995, №1, с. 23-26.
- 20.Бойко В.А. Создание системы оперативного дистанционного контроля запыленности воздуха в угольных шахтах / В.А. Бойко, В.И. Голинько, В.Г. Колесина. Тезисы докладов II Всесоюзной научно-технической конференции «Аэрозольная система и коагуляция аэрозолей, ЦПВ НТГО; М.: 1988г. - с.95.-97.
- 21.Система оперативного дистанционного контроля запыленности воздуха АДК - 3 / Центральное бюро научно-технической информации Минуглепрома СССР. - Донецк, 1988. - 4с.
- 22.Бобров А.И., Кривохижа Б.М., Кожуба О.И. Разработка новых средств пылевого контроля угольных шахт. - Материалы международной конференции по борьбе с пылью в угольных шахтах (Алуште, сентябрь 1996 г.), - с. 54-57.
- 23.Приборы и оборудование для измерения запыленности. Каталог ЗАО НП Эко - ИНТЕХ, 2005г, стр. 19.
- 24.Диколенко Е.А. Причины взрывов газо-пылевоздушных смесей в шахтах и способы их предупреждения // Безопасность труда в промышленности. - 1988. - №8.-. с. 12-15.
- 25.Кудряшев В.В. К вопросу о точности косвенных методов пылевого контроля. - В кн.: Проблемы рудничной аэрологии. М.: Госгортехиздат, 1959.-с.257-261.
- 26.Феськов М.И. О совершенствовании пылевого мониторинга. //Сборник научных трудов. Окружающая среда - человек, ресурсосбережения. Выпуск 2. Том 1. Алчевск : ДГМИ - 1999 - 254с.
- 27.Кудряшев В.В. К вопросу оценки пылевзрывобезопасного состояния горных выработок. // Материалы международной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности - 2000 - Алчевск, ВО МАНЕБ, ДГМИ, 2000, - с.115-119.
- 28.Кудряшев В.В. О непрерывном контроле пылеотложения в горных выработках угольных шахт // Аэрология: Сборник научных трудов по материалам симпозиума «неделя горняка - 2007». - 2007 NOV 12. — стр 245-255.
- 29.Викторов В.А. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин / В.А. Викторов, Б.В. Лункин, А.С. Совлуков. — М.: Наука, 1981. -209с.

30. Нецепляев М.И. Мягкий Б.И. // Исследовать способы создания автоматизированной системы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок шахты. Тех. Отчет №1840049621, Фонды МакНИИ. 1985, - 113с.
31. Разработать и испытать экспериментальный образец системы дистанционного контроля пылевзрывобезопасности горных выработок.// Тех. Отчет №1796004000, Фонды МакНИИ, 1987.-191 с.
32. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок. Донецк: «Нордпресс» 2002-286 с.
33. Киреев А.М. Исследование пылевзрывобезопасности горных выработок в условиях Донбасса. Автор, дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. — г.Тула, Тульский политехнический институт — 1968 — 21 с.
34. Трубицын А.А. Технологические основы системы управления пылевой обстановки в угольных шахтах для обеспечения безопасности ведения горных работ. Дисс. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. — Люберцы: ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского - 2002 -216с.
35. Петрухин П.М., Качан В.Н. Теоретические основы пылевзрывозащиты способами, основанными на применении воды. Труды МакНИИ «Безопасность труда в угольных шахтах» Том XXII - М: Недра, 1972 с.89-103.
36. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. - М: Недра, 1973 -152 с.
37. Кравец В.М. Исследование и разработка рекомендаций по совершенствованию системы локализации взрывов угольной пыли в шахтах. Канд. дисс. НПИ, Новочеркасск, 1980 - 145с.
38. Исследование возможности замены осланцевания и сланцевых заслонов мокрыми способами в условиях шахт Донбасса // Отчет по теме №40 МакНИИ, 1965-41 с.
39. Гурин А.А., Малый П.С., Савченко С.К. Ударные волны в горных выработках // Изд. 2-е. перераб. и доп. - М.: Недра, 1983 — 223с.
40. Поздняков Г.А. Автоматическое управление пылевым режимом угольных шахт. Безопасность труда в промышленности. - 2009, №10, с. 46-49.
41. Гродель Г.С., Яремаченко П.П. Совершенствование контроля запыленности воздуха в угольных шахтах. // Сб: Борьба с силикозом, Т X . - М . : Наука, 1977.-с. 129.-133.
42. Романченко СБ. Стендовые и шахтные испытания системы автоматизированного контроля пылевзрывобезопасности горных выработок. /СБ. Романченко, Г.А. Поздняков, К. Либецки, И. Мруз (Польша). Научные сообщ. ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского - М.: 2004. - Вып. 327, с 21-32.
43. А.К. Бобров, Б.М. Кривохин , О.И. Кошуба / Разработка новых средств пылевого контроля для угольных шахт // Материалы международной конференции по борьбе с пылью в угольных шахтах (Алушта, сентябрь 1996) — Алчевск: ДГМИ, 1996 - с. 54 - 57.

- 44.Кубрин.С.С., Поздняков Г.А. Закутский Е.Л. Патент № 2358256. Датчик контроля интенсивности накопления пыли. Бюл. №16: 10.06.2009. — 3с.
- 45.Гаузнер С И., Кивилис С С, Осокина А. П., Павловский А. Н. Измерение массы, объема и плотности. Издательство стандартов, Москва, 1972.
- 46.Онтин Е.И., Старков СП. Расчетный способ определения пылеотложения в горных выработках шахт как основа нормализации сланцевой защиты. Тр. ВостНИИ по безопасности горных работ в угольной промышленности, 1964, т.4, с 90-93.
- 47.Эльмар Фукс, Ханс-Георг Бласгуде. Стандарты по защите от взрывов в горной промышленности - безопасность, экономичность, охрана окружающей среды. // Глюкауф. — 2007, №1(2), - с.56-65.
- 48.Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах. М., «Недра», 1965, с.231.
- 49.Хенке Б., Рихтерг Г.О. Мероприятия пылеподавления при работе шнековых комбайнов // Глюкауф. - 1991, - №17/18. с. - 19 — 24.
- 50.Чудинов СГ. Модели и алгоритмы прогнозирования аэрогазовой ситуации для информационно — аналитической системы безопасности шахты. Автореферат диссертации на соиск. учен. степени канд. техн. наук., Москва 2009 г.
- 51.Воронин В.П. Параметры вентиляционной струи, характеризующие эффективность выноса пыли из горных выработок «Борьба с силикозом», вып М., изд. А.Н. СССР, 1953.
- 52.Поздняков Г.А. Научные основы, методы и технические средства нормализации атмосферы подготовительных забоев угольных шахт по пылевому фактору. Дисс. на соиск. учен. степени докт. техн. наук, - М. — ИГД им. А.А. Скочинского, 1997г. - 383 с.
- 53.Грин Х., Лайн В. Аэрозоли - пыли, дымы и туманы. Изд-во «Химия», 1972, 428 стр.
- 54.Спурный К., Йех Ч., Седпачен Б., Шторх О. Аэрозоли. «Атомиздат», М., 1964, 360с.
- 55.Параметры вентиляционной струи, характеризующие эффективность выноса пыли из горных выработок. Сб. статей «Борьба с силикозом», «Академиздат», М., 1953г., с. 97-114.
- 56.Аэрология горных предприятий./ А.С. Бургаков, К.З. Ушаков, Л.А. Пучков и др. М., Наука, 1987 234 с.
- 57.Сурков С. В. Волновая модель вторичных течений в призматических каналах // Тр. Одес. политехи, ун-та. — Одесса, 2002. — Вып. 2 (18). — С. 184— 188.
- 58.Сурков СВ. Расчет движения пылевых частиц с использованием математических моделей вторичных течений / Сурков СВ., Цабиев О.Н. // Тр. Одес. политехи, ун-та. — Одесса, 2004. — Вып. 2 (22).— С. 184 — 188.
59. <https://politeka.net/ua/news/411225-top-5-tragedij-na-ukrainskih-shahtah/>