

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет «Гірничий»

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра «Управління гірничим виробництвом»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____/Ляшок Я.О./

“ ____ ” _____ 2021 року

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розрахунок параметрів обезпилювання в комбайновому прохідницькому забої»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОПГзм-19

напряму підготовки (спеціальності) 184 «Гірництво», спеціалізація «Охорона праці в гірництві»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Пінчук О. А. _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник: проф. каф. ОП, д.т.н., Подкопась С.В.

(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 Пінчук О. А. _____

(підпис)

Покровськ – 2021

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»
Факультет Гірничий
Кафедра Управління гірничим виробництвом
Освітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістр
Напрямок підготовки (спеціальність) 184 «Гірництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

/Ляшок Я.О./

“ ” 2021 року

З А В Д А Н И Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРУ

Пінчуку Олексію Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. «Розрахунок параметрів обезпилювання в комбайновому прохідницькому забої»

керівник роботи Подкопаев Сергій Вікторович
(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			
5			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз запиленості повітря в механізованих прохідницьких забоях та способів боротьби з ними	18.02.2021-13.03.2021	
2	Дослідження процесів пиловиділення та розповсюдження пилу	13.03.2021-01.04.2021	
3	Методика та розрахунок параметрів знепилення під час роботи видобувного обладнання	01.04.2021-15.04.2021	
4	Експериментальні дослідження параметрів знепилення.	15.04.2021-03.05.2021	
5	Оформлення роботи і підготовка до захисту	03.05.2021-10.05.2021	

Студент:

_____ (підпис)

Пінчук О. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Подкопась С.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пінчук О.А. Розрахунок параметрів обезпилювання в комбайновому прохідницькому забої» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 184 «Гірництво» (спеціалізація «Охорона праці в гірництві») ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Мета магістерської роботи полягає у встановленні залежності пиловидалення при роботі комбайнів вибіркової дії від зміни протягом циклу обробки площині забою факторів, що впливають на кількість пилу, що надходить в атмосферу вироблення, для обґрунтування вибору раціональних параметрів засобів пилоподавлення, що забезпечують зниження ризику захворювання на пневмоконіоз гірників підготовчих виробок вугільних шахт.

Для вирішення поставлених завдань було прийнято комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, метод математичної статистики, лабораторні та шахтні експерименти, математичну обробку результатів спостережень.

встановлена залежність зміни запиленості повітря в забої від поточної продуктивності комбайна;

визначено вплив схем обробки площині забою на інтенсивність пиловидалення в, атмосферу комбайнового тупикової виробки; запропоновані залежності, що дозволяють розрахувати оптимальну витрату повітря, що подається до забою, за пиловим і газового факторів;

запропоновані залежності, що дозволяють розрахувати оптимальну витрату повітря, що подається до забою, за пиловим і газового факторів;

отримана залежність зміни-концентрації пилу по довжині тупикової виробки як функції поздовжньої швидкості повітря і відстані від джерела пиловидалення;

обґрунтовані умови застосування пиловідсмоктуючих установок за пиловим і газового факторам з урахуванням рециркуляції частини повітря в тупиковому комбайновому забої;

обґрунтовані принципи регулювання параметрів засобів пилоподавлення при роботі комбайнів вибіркової дії;

уточнена методика розрахунку індивідуальної пилової експозиційної дози та ймовірності захворювання прохідників при змінюваному пиловидаленню.

Практична значимість наукових досліджень полягає в розробці методики розрахунку регульованих параметрів і режимів роботи засобів пилоподавлення в механізованому прохідницькому забої, що забезпечують зниження середньозмінної концентрації пилу.

Ключові слова : гірнича виробка, пилоподавлення, прохідницький вибій, концентрації, шахтний метан, утилізації метану.

ANNOTATION

Pinchuk OA Calculation of dedusting parameters in the combine tunnel face "/ Final qualification work for the degree of" master "in the specialty 184" Mining "(specialization" Occupational Safety in Mining ") SHEI DonNTU, Pokrovsk, 2021.

The purpose of the master's thesis is to establish the dependence of dust removal during the operation of selective combines on the change during the processing cycle of the slaughter plane of factors affecting the amount of dust entering the production atmosphere to justify the choice of rational parameters of dust suppressants to reduce the risk of pneumoconiosis preparatory workings of coal mines.

To solve the tasks, a complex research method was adopted, which includes analysis and generalization of scientific and technical literature, the method of mathematical statistics, laboratory and mine experiments, mathematical processing of observation results.

The scientific novelty of the work is as follows:

- the dependence of the change in air dust in the face on the current productivity of the combine

- the influence of schemes of processing of the plane of the face on the intensity of dust removal in the atmosphere of the combine deadlock; the offered dependences allowing to calculate an optimum expense of the air given to slaughter, on dust and gas factors;

- the offered dependences allowing to calculate an optimum expense of the air given to slaughter, on dust and gas factors;

- the dependence of the change-concentration of dust on the length of the dead-end excavation as a function of the longitudinal velocity of air and the distance from the source of dust removal;

substantiated conditions for the use of dust extraction units for dust and gas factors, taking into account the recirculation of air in a dead-end combine face;

substantiated principles of regulation of parameters of means of dust suppression at work of combines of selective action;

the method of calculation of individual dust exposure dose and probability of disease of tunnelers at variable dust removal is specified.

The practical significance of scientific research is to develop a method for calculating the adjustable parameters and modes of operation of dust suppression devices in mechanized tunnel face, providing a reduction in the average variable concentration of dust.

Key words: mining, dust suppression, tunneling, concentrations, mine methane, methane utilization..

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ЗАПИЛЕНOSTІ ПОВІТРЯ В МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОХІДНИЦЬКИХ ЗАБОЯХ ТА СПОСОБІВ БОРOTЬБИ З НИМИ	12
1.1. Запиленість повітря в механізованих прохідницьких забоях	12
1.2. Аналіз існуючих способів і засобів боротьби з пилом	15
1.2.1. Способи гідрознепилення	16
1.2.2. Низьконапірне зрошення	16
1.2.3. Пневмогідроорошення (ПГО)	18
1.2.4. Зрошення пневмогідровличними ежекторами (ПГЕ)	18
1.2.5. Високонапірне зрошення (ВО)	19
1.2.6. Зрошення водоповітряними ежекторами (ВВЖ)	19
1.2.7. Пиловідсмоктувач і пиловловлювання	20
1.3. Управління пиловидаленням	21
1.4. Профілактика пилової етіології	22
1.5. Напрямок, ціль завдання, дослідження	32
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПИЛОВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПИЛУ	37
2.1. Аеродинаміка тупикового забою	62
2.2. Шахтні дослідження параметрів повітряних потоків і пиловидалення в тупиковому комбайновому забої	69
3. МЕТОДИКА ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗНЕПИЛЕННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ ВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ	80
3.1. Розрахунок раціональних параметрів витрати повітря для коректності вибору раціональних параметрів витрати повітря вся площину забою розбивається умовно на дві області	81
3.2. Обґрунтування, розрахунок раціональних параметрів гідрознепилення при роботі комбайнів вибіркової дії	85
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗНЕПИЛЕННЯ	110
4.1. Динаміка фракційного складу пилу в підготовчих виробках вугільних шахт	110

4.3. Шахтні дослідження запиленості та ефективності засобів пилоподавлення	114
4.4. Перевірка умови за пиловим і газового факторів при рециркуляції повітря	119
4.3. Зниження ризику виникнення захворювання пилової етіології	124
ВИСНОВКИ	125
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	126

ВСТУП

Актуальність роботи. У структурі професійних патологій працівників вугільних шахт частка захворювань, обумовлених шкідливим впливом пилу, займає одне з перших місць. Найбільш часто захворювання реєструються у ГРОЗ і прохідників.

У загальному списку професійних захворювань працівників вугільних підприємств захворювання органів дихання є провідними в структурі професійних патологій і являють собою не тільки медичну, а й соціальну проблему.

Все більш широке застосування високопродуктивних комбайнів вибіркової дії і інтенсифікація прохідницьких робіт призводять до значного підвищення запиленості повітря на робочих місцях прохідників. Кількість забоїв, що проводяться прохідницькими комбайнами, зростає і становить понад 64% від загального числа підготовчих виробок.

Інтенсивність надходження пилу в атмосферу вироблення при роботі комбайнів характеризується значною нерівномірністю, викликані зміною умов пиловиділення при обробці різних зон по площині забою. Засоби пилоподавлення, що працюють в статичному режимі, не враховує змін умов пиловиділення, не забезпечують достатню ефективність зниження концентрації пилу в повітрі. Гігієнічна оцінка пилового фактора також повинна враховувати змінюється в часі концентрацію пилу і її дисперсний склад.

Застосування існуючих засобів гідрознепилення менш ефективно і здійснюється при нераціонально великих витратах розпорошеної води, що ускладнюють стан умов праці в гірничих виробках.

У зв'язку з цим зниження запиленості повітря на основі вибору раціональних параметрів засобів знепилювання в прохідницьких комбайнових забоях і поліпшення умов праці за пиловим фактором є актуальною для вугільної галузі завданням.

Мета магістерської роботи полягає у встановленні залежності пиловиділення при роботі комбайнів вибіркової дії від зміни протягом циклу обробки площині забою факторів, що впливають на кількість пилу, що надходить в атмосферу вироблення, для обґрунтування вибору раціональних параметрів засобів пилоподавлення, що забезпечують зниження ризику захворювання на пневмоконіоз гірників підготовчих виробок вугільних шахт.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань було прийнято комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, метод математичної статистики, лабораторні та шахтні експерименти, математичну обробку результатів спостережень.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- встановлена залежність зміни запиленості повітря в забої від поточної продуктивності комбайна;
- визначено вплив схем обробки площині забою на інтенсивність пиловиділення в, атмосферу комбайнового тупикової виробки; запропоновані залежності, що дозволяють розрахувати оптимальну витрату повітря, що подається до забою, за пиловим і газового факторів;
- уточнені залежності, що дозволяють визначити раціональний витрата рідини на зовнішнє зрошення джерела пиловиділення протягом циклу обробки площині забою з урахуванням максимального питомої витрати;
- отримана залежність зміни-концентрації пилу по довжині тупикової виробки як функції поздовжньої швидкості повітря і відстані від джерела пиловиділення;

- обґрунтовані умови застосування пиловідсмоктуючих установок за пиловим і газового факторам з урахуванням рециркуляції частини повітря в тупиковому комбайновому забої;
- обґрунтовані принципи регулювання параметрів засобів пилоподавлення при роботі комбайнів вибіркової дії;
- уточнена методика розрахунку індивідуальної пилової експозиційної дози та ймовірності захворювання прохідників при змінному пиловидаленню.

Практична значимість - наукових досліджень полягає в розробці методики розрахунку регульованих параметрів і режимів роботи засобів пилоподавлення в механізованому прохідницькому забої, що забезпечують зниження середньо змінної концентрації пилу.

Структура і обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із найменувань, містить малюнки і таблиці.

1. АНАЛІЗ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ В МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОХІДНИЦЬКИХ ЗАБОЯХ ТА СПОСОБІВ БОРОТЬБИ З НИМИ

1.1. Запиленість повітря в механізованих прохідницьких забоях

Запиленість повітря на робочих місцях під час роботи прохідницьких комбайнів вибіркової дії характеризується значною нерівномірністю, викликаного змінним пиловидаленням при обробці різних ділянок забою по перетину вироблення. Максимальна і мінімальна запиленість відрізняється в 3-8 разів.

Пиловидалення при руйнуванні гірського масиву залежить від ряду гірничо-геологічних і технологічних факторів: вологості, фортеці, структури, матеріального складу і ступеня метаморфізму вугільного пласта, його потужності, способу і режиму руйнування вугілля, швидкості руху повітря, продуктивності виробничого процесу, які можуть змінюватися в широких межах.

Питання пиловиділення і боротьби з пилом у підготовчих виробітках досить докладно і повно висвітлені в роботах А.С.Бурчакова, Б. Ф.Кіріна, І.І.Медведева, В.П.Журавлева, В.В.Дьякова, Н.Ф. Гращенкова, В.Скобунова, Л.Я.Ліхачева, Е.І.Ситіна, І.Г.Іщука, Г.А.Позднякова, Єрохіна Ю., Романченко С.Б. та ін.

Великий вплив робить на пилоутворення режим різання вугілля виконавчим органом. Так збільшення швидкості обертання відбійною коронки комбайна в 2 рази призводить до підвищення запиленості в 1,3-2 рази. Спостерігається також зростання запиленості зі збільшенням швидкості поперечної подачі робочого органу, так як при цьому зростає маса руйнується масиву, а значить і інтенсивність виділення пилу в атмосферу призабойного простору, при одночасному зниженні питомої виходу пилу (за даними Позднякова Г.А.).

Табл.1.4.

Фракционный состав разрушения при различной скорости подачи исполнительного органа

Тип Комбайна	Состав фракций (%) при скорости подачи v_n , м/мин							
	1				2			
	50	50 – 25	25 – 6	6 – 0	50	50 – 25	25 – 6	6 – 0
Кузнецкий бассейн								
ПК-9р	14	16	18	52	21	17	19	43
ПК-3м	13	19	20	48	19	19	22	40
4ПУ	12	21	21	44	16	23	25	36
Донецкий бассейн								
Пк-9р	13	15	17	55	12	16	17	55
Пк-3м	12	17	20	51	19	20	14	47
4ПУ	11	22	24	43	22	26	11	41

Табл. 1.5.

Влияние скорости вращения коронки и подачи на запыленность воздуха
на рабочем месте машиниста

Скорость вращения коронки, об/мин	Скорость подачи, м/мин	Запыленность воздуха, мг/м ³	Скорость вращения коронки, об/мин	Скорость подачи, м/мин	Запыленность воздуха, мг/м ³
73	2	300	93	2,2	600
146	2	420	186	2,2	1100

Удільне пиловиділення визначається за емпіричною формулою:

$$d = 150 \cdot a_{\text{пл}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (1.1)$$

де $K_{\text{в}}$ — коефіцієнт, що враховує середньозважене значення вологості вугілля; $K_{\text{н}}$ - коефіцієнт, що враховує середньозважене значення виймаємо потужності пласта; $K_{\text{т}}$ — коефіцієнт, що враховує температуру пласта; $a_{\text{пл}}$ — зміст в зруйнованому вугіллі частинок, діаметром менше d ,

$$a_{\text{пл}} = 100 [1 - \exp \cdot (-\lambda \cdot d^m)], \quad (1.2)$$

де m - показник здатності вугілля до подрібнення, визначається за даними ситового аналізу проб вугілля; λ ~ показник ступеня подрібнення вугілля.

Особливий вплив на загальний рівень запиленості повітря надає спосіб провітрювання забою підготовчої виробки: швидкість і напрямок повітряного струменя у джерел пиловиділення, кількість повітря, що проходить по виробленню, ступінь турбулентності потоку.

Виходячи з фізики процесу пиловиділення, слід зазначити, що оптимальні швидкості провітрювання за пиловим чинником залежать від багатьох параметрів, серед яких основний - вихідна інтенсивність пиловиділення, що залежить від динамічних властивостей повітряних струменів.

Багато вчених вважають, що інтенсивність пиловиділення залежить від середньої швидкості вентиляційного потоку в виробленні, тобто вважається, що швидкість у грудях забою постійна по всьому перетину, з чим не можна погодитися, так як в залежності від віддаленості нагнітального трубопроводу і його розмірів, параметри струменя будуть змінюватися.

Рекомендовані методи розрахунку не враховують особливостей роботи комбайнів із стрілоподібним робочим органом. Так основним джерелом, пилоутворення тут є відбійна коронка, а її положення в процесі роботи постійно змінюється як по висоті, так і по ширині вироблення, тобто K_{wi} , не дорівнює $const$. При цьому відбита гірська маса падає з різної висоти, а значить і час взаємодії її з повітряним потоком, що обумовлює перехід пилу під зважене стан, по-різному. Крім того, оскільки тупикові виробки провітрюються зазвичай за нагнітально-всмоктуючою схемою, то і швидкості повітряних потоків матимуть різне значення по перетину вироблення в зоні пилоутворення і змішання. Поле швидкостей повітряних потоків вирівнюється на відстані 20-25 м від грудей вибою.

Дослідженнями В.В. Дьякова., Є.Г. Воронова, Н.Н. Горіховою, Л.Я. Лихачова, Г.А. Радченко, Е.М. Москаленко, А.П. Поелуевой підтверджено, що інтенсивність пиловиділення зростає зі збільшенням швидкості

повітряного потоку в місці пилоутворення:

$$I = I_f + a \cdot U^b \cdot I_0, \quad (1.3)$$

де I — інтенсивність пиловиділення, мг/с;

I_0 — інтенсивність пиловиділення (при $U = 0$) за рахунок молекулярної дифузії і збурень, внесених в середу падаючим потоком вугілля і породи, мг/с; a, b - коефіцієнти пропорційності, причому $b > 1$;

U — швидкість повітряного потоку, м/с.

Мінливість інтенсивності пиловиділення призводить до значних коливань запиленості повітря, це наводить на думку про те, що для кожної зони обробки забою (низ, середина, верх) повинна бути своя, оптимальна швидкість провітрювання, що забезпечує мінімальну концентрацію пилу в атмосфері виробки.

1.2. Аналіз існуючих способів і засобів боротьби з пилом

Узгодження санітарно-гігієнічних і техніко-економічних вимог з реальними умовами діючих гірничих підприємств являє складно вирішуване завдання, що вимагає суворого наукового обґрунтування прийнятих рішень. У зазначеному аспекті представляється необхідним розглянути основні напрямки реалізації сучасних способів боротьби з пилом в процесах гірської технології.

Повсюдно застосовується зрошення вимагає великих витрат води, що призводять до зволоження і передчасного зносу шахтного устаткування, перезволоження і зниження якості вугілля, намокання і пробуксовці конвеєрних стрічок, що викликає зупинки конвеєрів і видобувних машин, знижуючи їх машинний час, продуктивність видобувних ділень і вугільних шахт не забезпечуючи нормалізації пилової обстановки.

1.2.1. Способи гідрознепилення

Практичні методи використання способу гідрознепилення включають в себе:

- низьконапірне зрошення;
- високонапірне зрошення;
- пневмогідроорошення;
- зрошення пневмогідравличними ежекторами;
- зрошення водоповітряними ежекторами;
- аспірацію і знепилювання повітря водоповітряними ежекторами.

Способи засновані на використанні акустичного [17], електростатичного [5,8,13] - і інших методів гідрознепилення, які поки не знайшли широкого застосування в шахтних умовах через слабку вивченість, складності застосування, низькою економічністю та інших недоліків, в подальшому виключимо з аналізу.

1.2.2. Низьконапірне зрошення

До методів низьконапірного зрошення відносять використання для розпилення рідини діапазону тисків в межах від 0,5 до 3,0 МПа. Розпилення рідини здійснюється форсунками різних типів - ПФ (плоскоструменеві), ЗФ (зонтичні), КФ (конусні) і ін. З різними кутами розкриття факела і витрати рідини. Для типових зрошувальних систем (ТОС) при тисках від 1,2 до 2,0 МПа і питомі витрати води 30-40 літрів на тону відбитого вугілля ефективність пилоподавлення становить 50-70% [7,19]. Ефективність гідрознепилення пов'язана з такими характеристиками, як фізико-хімічні властивості пилу, розмір пилових частинок, співвідношення радіусів пилинок і крапель рідини [8]. Багато авторів оптимальними розмірами крапель рідини вважають 30-50 мкм [63, 65, 82]. Середні розміри і щільність крапель в факелі, швидкість руху і довжина їх прольоту залежать від тиску води, причому оптимальний тиск розпилення знаходиться в межах 1,2-2,0 МПа. Дослідженнями показано, що висока ефективність пилоподавлення забезпечується при діаметрі крапель 60-90 мкм і тиску 1,5-3,0 МПа. В роботі [18] встановлено, що розмір крапель надає різний вплив на ефективність пилопригнічення в

активній зоні і в зоні загасання факела. В останній (на відстані більш 0,5-0,7 м від зрошувача) ефективність осадження пилу зростає зі збільшенням розміру крапель [15, 16]. Автори робіт [15,18] вважають, що кращі результати досягаються при розмірах крапель 40-200 мкм і швидкості їх руху близько 20 м / с.

Істотний вплив на ефективність пилоподавлення надають щільність зрошення і питома витрата води. Багато авторів вважають, що питома витрата води на зрошення повинен знаходитися в межах 30-50 л / т. Шахтні випробування показали, що при розробці пластів потужністю до 0,9 м найбільша ефективність зрошення досягається при витраті води 30-40 л / т, а для пластів потужністю 1,4-1,7 м при питомій витраті води 50-60 л / т і ефективності пилоподавлення 80 ^ -90%. Цей рівень різко знижується при зменшенні тиску води нижче 0,5-1 МПа.

Як показують експерименти при низьконапірній зрошенні уловлюються фракції пилу дрібніше 5 мкм, найбільш шкідливе для людського організму, а залишкова запиленість при цьому становить не менше 100-500 мг / м. У разі збільшення витрати води на зрошення до 45-60 л / т ефективність низьконапірного зрошення досягає 95-98,4%. Однак при такому витраті води відбувається перезволоження вугілля, що знижує його качество.¹

1.2.3. Пневмогідроорошення (ПГО)

Сутність ПГО полягає в тому, що на джерело пилоутворення направляється факел тонкодиспергированої рідини, що поширюється всередині факела грубодиспергированих крапель. Смолоскипи зрошення створюють шляхом дроблення рідини стисненим повітрям. Для ефективного пилоподавлення необхідний факел тонкодиспергированої рідини з розміром крапель 40-60 мкм, а факел грубо дисперсного дроблення -100-200 мкм. Щільність частинок в факелі складає 10-10 част./м, об'ємне відношення витрат стисненого повітря і води знаходиться в межах 80-30. При подачі водовоздушної суміші в осередок цвітіння * витрата води становить 20-90 л / хв, робочий тиск 0,4-0,5 МПа, відстань від зрошувачів до вогнища пилу 1-2 м Запиленість повітря при цьому знижується на 90-99% . Найвища ефективність досягається на ізольованих джерелах пилоутворення.

Недоліки: необхідність застосування стисненого повітря; прокладки окремих магістралей для води і стисненого повітря.

1.2.4. Зрошення пневмогідравличними ежекторами (ПГЕ)

Спосіб гідрознепилення за допомогою пневмогідравличних ежекторів є подальшим розвитком можливостей пневмогідроорошення . Завдяки використанню стиснутого повітря для ежекції, а також у зв'язку з тим, що в основу ПГЕ покладено ефект Коанда, даний спосіб більш ефективний. Ефективне застосування способу (95-99%) досягається при тиску стисненого повітря 0,3-0,4 МПа, води - 0,8-1,0 МПа, витраті рідини становить 0,5-3,5 л / хв, радіусі краплі 0,05-0,1 мкм, відстані від ежектора до вогнища цвітіння 1,0-1,5 м і мінімальному розмірі вловлюється пилу 0,3-1,0 мкм. ПГЕ дозволяє в 2-3 рази і > більш зменшити витрату стисненого повітря на боротьбу з пилом в порівнянні з ПГО.

1.2.5. Високонапірне зрошення (ВО)

Одним із шляхів зниження витрати води і підвищення ефективності гідрознепилення є застосування високого тиску для розпилення рідини в межах від 2 до 15 МПа. При цьому інтенсифікуються процеси коагуляції пилового та водного аерозолів, що дозволяє вловлювати фракції пилу 2-5 мкм. Запиленість повітря зменшується на 90-97%

За даними авторів, при тисках води 10-15 МПа середній діаметр крапель в активній зоні факела становить 30-75 мкм. Згідно роботи, при тиску води 8-15 МПа дисперсність крапель води становить 16-60 щільність крапель в факелі зрошення 10-10 частинок на 1м, а початкова швидкість вильоту крапель рідини 100-180 м / с. Дослідженнями встановлено, що значне зниження запиленості повітря (в 1,5-3 рази) і зменшення витрат води в 2-2,5 рази в порівнянні з низьконапірним зрошенням досягається при високонапірному зрошенні з тиском води більше 5 МПа. В результаті шахтних випробувань встановлено, що разом з простотою виготовлення і надійністю в роботі застосування високо напірного гідрознепилення з тиском води 6-10 МПа забезпечує високу (94-98,5%) ефективність знепилювання повітря при витраті води в 1,5-3 рази меншому (10-20 л / т) в порівнянні з низьконапірним зрошенням.

1.2.6. Зрошення водоповітряними ежекторами (ВВЖ)

Ежектор - здатність факела високонапорної розпиленої рідини реалізована в зрошують водоповітряних ежекторах, де ежектор - форсунка поєднана з направляючої водоповітряний потік камерою, куди надходить запилене повітря. Утвориться в камері суміш направляється факелом в джерело пилоутворення для гасіння пилу. Ефективне гасіння пилу такими ежекторами здійснюється при тиску рідини 2,5-3 МПа і витраті її 60-90 л / хв, розмір крапель 0,2-0,3 мм і відстані від ежектора до джерела пилоутворення 1-1,5 м. Ефективність боротьби з пилом 80-96%. Мінімальний розмір вловлюється пилу від 2 до 5 мкм [106]. У процесі

досліджень встановлено, що запиленість повітря знижується в різних умовах на 93,5-96%; залишкова її величина знаходиться в межах 62-100 мг / м.

1.2.7. Пиловідсмоктувач і пиловловлювання

При цьому способі знепилювання застосовують ізоляцію вогнища цвітіння від повітряного простору виробок в поєднанні з пило відсмоктувач і пиловловлення.

У шахтах знайшли застосування мокрі інерційні пиловідокремлювачі (рис. 1.10) принцип дії яких заснований на змочуванні і агрегації пилинок в колесі і кожусі вентилятора [106].

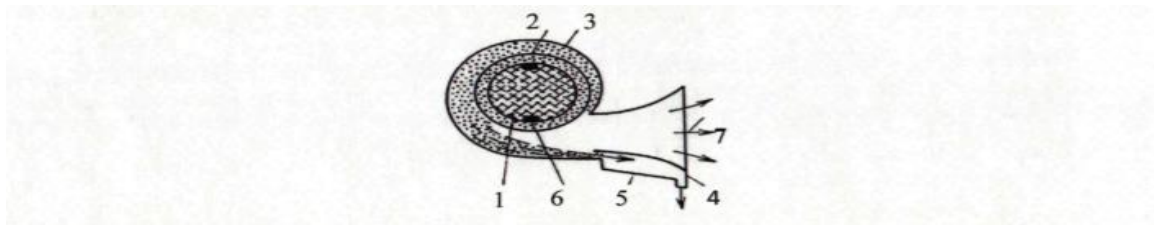


Рис.1.10. Вентилятор-пиловідокремлювач :

1 - всмоктуючий отвір; 2 - колесо вентилятора; 3 - кожух вентилятора; 4 патрубок для випуску шлам; 5 - камера шлагоуловителя; 6 - форсунка; 7 - очищене повітря.

На цьому принципі заснована робота вентилятора-пиловідокремлювача ПШ-150 (рис. 1.11), в якому коагуляція і відділення часток відбуваються в колесі вентилятора і в шламоборника.

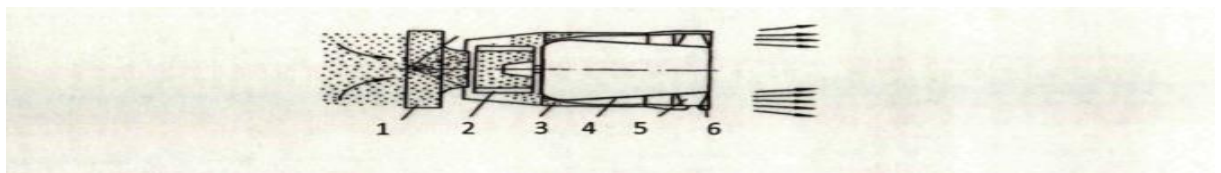


Рис.1.11. Вентилятор- пиловідокремлювач ПШ-150 збільшити коефіцієнт очищення до 99%

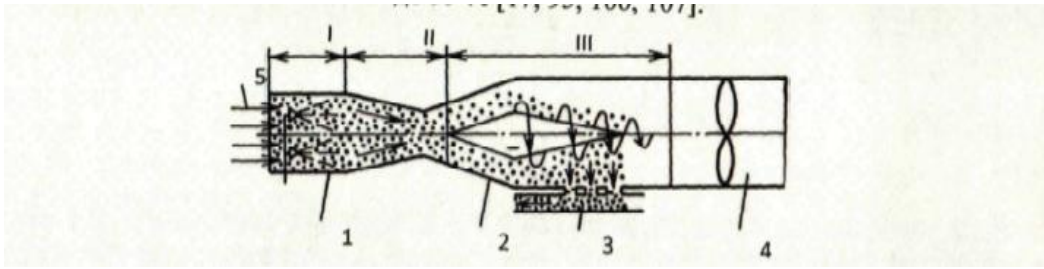


Рис.1.12. Схема мокрого інерційного пиловідокремлювачі «Рото-Вент»
виробництва ФРН

1 коагулятор (труба Вентурі); 2 - прямооточний інерційний пиловідокремлювач 3 місце відсмоктування шламу водоповітряними ежекторами; 4 - осьові вентилятори "Г ^{ТМ}» »I-зона змочування пилу, II- зона змішування пилу і води, III-зона відділення пилу.

Разом з цим такий спосіб боротьби з пилом при використанні для пиловідокремлювачі вентиляторів з електроприводом має свої недоліки - вибухопожежонебезпечних електродвигунів; високою енергоємністю - великими габаритами і масою; високими (понад 95 Дб) рівнями для видання шуму, складністю виготовлення і т.д.

1.3. Управління пиловидаленням

Під час відбою гірської маси, повітря потрапляє в штрек радіально до осі вентиляційного става. Під час інших робіт спрямований в сторону забою .

Для підтримки постійного відстані від кінця подає повітря трубопроводу до вибою, між вентиляційним трубопроводом і його наконечником встановлюється акумулятор вентиляційних труб, довжиною рівній добовому посування вибою. Цим забезпечується стійкий розрахунковий аеродинамічний режим в при вибійній зоні.

З метою підвищення ефективності та зниження витрат рідини в запропоновано пристрій дискретної подачі її до зрошувачів з частотою, пропорційною швидкості витікання. Пристрій забезпечений перемикачем потоку рідини, з можливістю почергового перекриття вихідних отворів форсунок.

На раціональне використання води направлено і застосування секційного зрошення, замість лінійного при роботі стругів . Підключення секцій, що складаються з декількох форсунок, здійснюється автоматичним включає пристроєм механічного або електрогідравлічного типу.

У зв'язку з вищевикладеним можна констатувати, що впровадження засобів автоматизації управління пиловидаленням в шахтних умовах, можливо, і воно починає застосовуватися, однак недостатня вивченість умов застосування і специфічні труднощі при експлуатації гальмують цей процес.

1.4. Профілактика пилової етіології

Основою профілактики профзахворювань пилової етіології є гігієнічне нормування і контроль концентрацій пилу в повітрі.

Провідним чинником в розвитку пневмоконіозів є кількість пилу, що накопичився в легенях. Основними параметрами, що впливають на надходження пилових частинок в організм і їх затримку в органах дихання, є концентрація пилу в інгаліруемого повітрі і час її впливу, розміри частинок (дисперсність), їх щільність (питома вага), розчинність, обсяг дихання-залежно від важкості праці, а також індивідуальна; чутливість організму.

Під загальною пилом розуміється частка пилових частинок, яка визначається приладами при лінійної швидкості всмоктування повітря в прилад 1,25 м/с 10%. Загальна пил є вихідною концентрацією для розрахунку загальної депонованої пилу. Тонку пил становить частка частинок, які проходять через систему роздільник в вимірювальному приладі. За своєю дією вона відповідає теоретичним - функціям і виділять частки з аеродинамічним діаметром менше 5 мкм в кількості до 50%.

Дослідженнями встановлено вплив чинників навколишнього середовища.

У більшості обстежених виробок санітарно-гігієнічні умови купа не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам і правилам безпеки.

Висока температура, відносна вологість, недостатня швидкість руху повітря зумовлюють напружену терморегуляцію організму і тим самим різко знижують його працездатність.

Висока запиленість атмосфери також знижує продуктивність праці і створює потенційно небезпечне середовище для. Професійних захворювань.

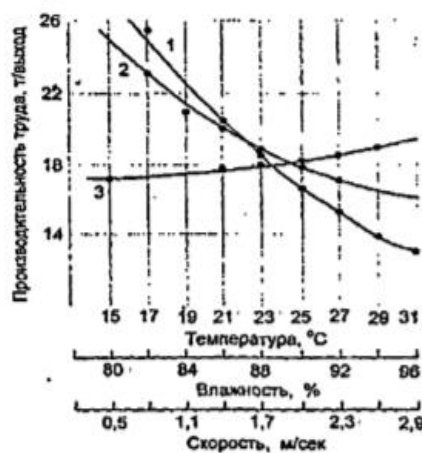


Рис.1.13- Криві залежності продуктивності праці від:

1 - температури повітря; 2 - вологості повітря; 3 - швидкості повітря.

Велика запиленість - збільшує об'єктивну небезпеку захворювання робітників з пневмоконіозом, зокрема антракозом і силікоз .

Численними дослідженнями встановлено, що найбільшу небезпеку з точки бачення патологічного впливу на розвиток і перебіг пневмоконіозів представляє пил з розмірами частинок менше 5 мк. Ці пилові частинки і, особливо 1-2 мк проникають в проміжну тканину легкого, в-лімфатичні сосуди і вузли, пошкоджують навколишні їх живі клітини, що призводить до виникнення і розвитку пневмоконіозу.

Криві, що характеризують затримку пилу при диханні в "залежності" від розмірів частинок за даними Х.Д. Ланделя, Р. Германа і Брауна наведені на рис. 1.14.

На підставі: даних, роботи можна зробити, висновок про те, що вирішальне значення: практичні мають пилові частинки розміром менше 10 мк.

Відомо, що захворювання на пневмоконіоз розвивається при вдиханні пилу з самим різним хімічним складом. Однак основним показником сілікозогенних властивостей пилу є наявність в ній вільного двоокису кремнію.

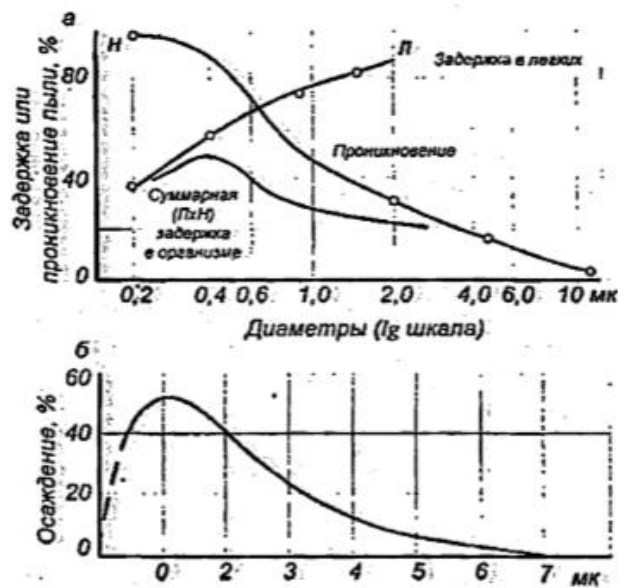


Рис. 1.14. Криві токсичності зваженої, рудничної пилу:

а — задержка пилу в легенях в залежності від розміру часток; б - осадження пилу в альвеолах легких по Брауну.

Оцінюючи шкідливість пилу, можна зробити висновки:

1. Головним фактором пиловий шкідливості є концентрація пилу в повітрі, що вдихається.

2..Проникнення пилу в легенів тканину, затримка і осадження: її: в альвеолах легенів залежать від дисперсності пилу.

3. Сілікозогенні властивості пилу: підвищуються зі збільшенням вмісту вільної-двоокису кремнію:

При оцінці санітарно-гігієнічної обстановки на робочих місцях в очисних і підготовчих заоб'єктах слід враховувати зазначені фактори. Ними ж

слід керуватися при: здійсненні технічних і організаційних заходів щодо зниження запиленості шахтного повітря, з'ясуванні джерел, що сприяють підвищенню, сілікозогенних властивостей пилу.

Якщо позначити ймовірність збереження здоров'я (відсутність захворювання) під впливом і-го виробничого чинника як S_i то, з огляду на незалежне дію чинників, ймовірність збереження здоров'я S під впливом n факторів буде

$$S = \prod_{i=1}^n S_i. \quad (1.4)$$

Ймовірність S , оскільки вона враховує стан умов праці за всіма n факторів, є узагальненою характеристикою (показником) якості виробничого середовища.

Ймовірності S_i , можуть бути названі приватними показниками безпеки, які можуть змінюватися від 1 (повна відповідність факторів умов праці чинним нормативам) до будь-якого мінімального значення. Подібного визначенню відповідає формула

$$S_i = \frac{(x_{\max} + 1) - x_{ij}}{x_{\max}}, \quad (1.5)$$

де $X_{\max}$ [- максимальна бальна оцінка ризику, яку можна прийняти рівною шести (з урахуванням досліджень НДІ праці); X_u - бальна оцінка ризику для і-го фактора за даними атестації робочих місць.

Пошкоджує здатність середовища або ризик R захворювань працівників очевидно, з урахуванням (1.4) буде

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n S_i. \quad (1.6)$$

Оскільки R , визначаються виходячи з бальних оцінок X_i , які знаходять з порівняння фактичних значень факторів до нормативних, що встановлюються для часу впливу чинників, рівним трудового стажу, то

величина R характеризує ризик, що відноситься саме до цього часу впливу. Для іншого подовження впливу t величина R буде:

$$R_t = 1 - \left(\prod_{i=1}^n S_i \right)^{\frac{1}{T}},$$

де $T = 25$ років – трудовий стаж.

Для $t = 1$ рік, враховуючи формулу (1.5), отримаємо

$$R_{ti} = 1 - \left[\prod_{i=1}^{m_j} \frac{(x_{\max} + 1) - x_i}{x_{\max}} \right]^{\frac{1}{T}},$$

де R_{ti} - ризик виробничо-обумовлених захворювань, що відноситься до одного року; t - число врахованих факторів. Умова праці j -м робочому місці: Під фактичним виробничим ризиком розуміється ймовірність захворювань; віднесена до одного року і яка визначається за даними про кількість фактично зареєстрованих захворювань: Частота цих захворювань, як відзначають багато авторів, підкоряється закону біноміального розподілу. Для визначення параметра P цього розподілу за даними, отриманим за M різних років, можна використовувати метод найбільшої правдоподібності. Функція правдоподібності має вигляд:

$$L = \prod_{i=1}^M P_{n_i}(m_i) = \left[\prod_{i=1}^M C_{n_i}^{m_i} \right] P^{\sum_{i=1}^M m_i} (1-P)^{\left(\sum_{i=1}^M n_i - \sum_{i=1}^M m_i \right)}, \quad (1.9)$$

де n_i - число працівників, врахованих при дослідженні в поточному році; m_i - число зареєстрованих захворювань в i -му році.

Параметр P біноміального розподілу характеризує узагальнену ушкоджує здатність навколишнього середовища (фактичний ризик), тобто сумарна дія виробничого середовища, природного середовища, побутової середовища і способу життя працівників. Для розрахунку фактичного ризику захворювань і теоретичного значення числа захворювань застосовні вираження:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^M m_i}{\sum_{i=1}^M n_i}, \quad (1.10)$$

де P - параметр біноміального розподілу, що характеризує узагальнену ушкоджує здатність навколишнього середовища (фактичний ризик).

$$m_{Ti} = P \cdot n_i, \quad (1.11)$$

де m_{Ti} – теоретичне знання числа захворювань.

Очевидно, здатність виробничої середовища P_{np} , що пошкоджує, становить якусь частину від P , тобто

$$P_{np} = \alpha \cdot P, \quad (1.12)$$

де альфа - коефіцієнт зв'язку між загальною P і виробничо-обумовленої захворюваністю працівників. Коефіцієнт α за даними деяких дослідників становить від 0,23 до 0,54.

. Розрахунки виконуються за такою схемою: розраховується інтенсивність, / впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів за висловом, (1.13), відносна інтенсивність і впливу ОВПФ, що характеризує стан умов праці на робочому місці, вираження (1.14) і потенційний узагальнений ризик R_{nor} - вираз (1.15).

$$I = \sum_{i=1}^K \left(N_i \cdot \sum_{j=1}^{L_i} x_{ij} \right), \quad (1.13)$$

де K - загальна кількість робочих місць, на яких проведена АРМ; - кількість працівників на i -м робочому місці; L_i - кількість врахованих факторів на i -м робочому місці; x_{ij} - бальна оцінка ризику для фактора на робочому місці, визначається по табл. 1.6.

Переклад результатів АРМ в бали ризику.

Табл. 1.6.

Перевод результатов АРМ в баллы риска.

Класс условий труда	1	2	3 – Вредный				4 Опасный
	Оптимальный	Допустимый	3.1	3.2	3.3	3.4	
Баллы риска, x_{ij}	1	2	3	4	5	6	–

$$i = \frac{\sum_{j=1}^K \left(N_i \sum_{j=1}^{L_j} x_{ij} \right)}{\sum_{i=1}^K N_i}, \quad (1.14)$$

$$\bar{R}_{\text{пот}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot R_{\Gamma i}}{\sum_{i=1}^n N_i}. \quad (1.15)$$

В формулі (1.15): $\sum_{i=1}^n N_i$ – загальна кількість зайнятих на робочих місцях, на яких проведена АРМ; n – число робочих місць в організації, на яких проведена АРМ; $R_{\Gamma i}$ – ризик виробничо обумовлених захворювань, який відноситься до одного року – розраховувався за формулою (1.8).

Очевидно, що інтенсивність I впливу ОВПФ, помножена на час впливу T , характеризує величину, яку можна назвати дозою впливу D :

$$D = \sum_{k=1}^K I_k \cdot T_k, \quad (1.16)$$

де I_k – інтенсивність впливу ОВПФ на проміжку часу T_k ; K – кількість проміжків часу; при цьому $T = \sum_{k=1}^K T_k$.

Загальна кількість N захворювань в організаціях може бути пов'язано з дозою впливу D . Для з'ясування цієї залежності використовуються дані про загальну інтенсивність впливу ОВПФ в досліджених підприємствах і числі захворювань по роках. Узагальнена залежність між сумарним,

числом захворювань і сумарною дозою впливу представлена на рис. 1.15.

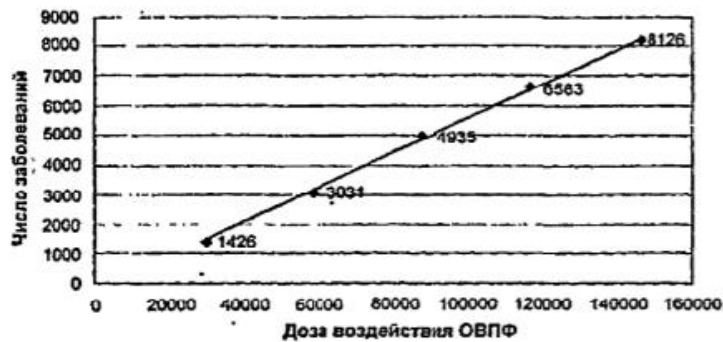


Рис. 1.15. Обобщенная зависимость между суммарным числом заболеваний и суммарной дозой воздействия.

Таким чином, обґрунтований узагальнений показник ушкоджує здатності виробничого середовища, трудового процесу (ризик) - див. Формули (1.7) і (1.8) отримано узагальнені оцінки фактичного та потенційного виробничого ризику, розрахованого за результатами АРМ; доведено, що оцінки фактичного ризику, отримані за даними про кількість захворювань працівників, знаходяться в тісному кореляційній залежності з оцінками потенційного ризику, отриманого за даними АРМ; виявлено тісний лінійна залежність між числом захворювань працівників і дозою віз дії ОВПФ; визначеної за формулою (1.16).

Імовірність виникнення захворювань пилової етіології тим вище, чим більша кількість пилу потрапляє в легені. На розвиток захворювання великий вплив мають мінеральний склад пилу, її фракційний склад, вік робітника, стаж роботи в контакті з пилом, умови праці (1.17)

В основу методу розрахунку ймовірності (професійного ризику) захворювання працюючих в контакті з пиловим фактором належить значення інтегрального показника лінійної дискримінантної функції у вигляді:

$$R = 8,6x_1 + 6,0x_2 + 19,4x_3k_1 + 6,4x_4k_2k_3, \quad (1.17)$$

де X_1 - вік працівника, роки; x_2 - загальний стаж роботи, роки; x_3 - стаж роботи в контактi з пилом, роки; $\bar{C}$ - середня, зважена за часом за аналізований період середньозмінна концентрація пилу, мг / м³; k_1 - коефіцієнт, що враховує зміст вільного діоксиду кремнію; k_2 - коефіцієнт, що враховує дисперсний і мінеральний склад пилу, а також її концентрацію в повітрі робочої зони; k_3 - коефіцієнт, що враховує тяжкість праці. (1.18)

Значення пиловий-експозиційної дози ПЕД розраховується за формулою:

$$ПЕД, = X_3 \cdot X_4.$$

ПЕД не повинна перевищувати граничної пиловий експозиційної дози ППЕД, відповідної розрахунковому ризику захворювання $\wedge$ на рівні 5% при загальному стажі роботи в контактi з пилом 30 років.

При використанні-протипилових респіраторів пилова експозиційна доза ПЕД різко скорочується, так як запиленість вдихуваного робочим «повітря знижується до ГДК (СПДК). Однак збільшується аеродинамічний опір протипилових фільтрів не дозволяє використовувати їх протягом всієї зміни.

Час роботи робітника в респіраторі буде визначатися запиленістю повітря $C_{нач}$ - в зоні дихання і граничної пиловий навантаженням застосовуваного типу респіратора.

$$P_{факт} \leq P_{пред, мг, \quad ,$$

де $P_{факт}$ — фактична пилова навантаження на фільтр за час t_f ,

$$P_{факт} = C_{нач} \cdot Q \cdot t_{ф, мг, \quad , \quad (1-19)$$

де Q - обсяг легеневої вентиляції, обумовлений тяжкістю виконуваного трудового процесу, м / хв.

Середньозважена за часом середньозмінна концентрація пилу:

$$x_4 = \frac{C_{\text{ГДК}} \cdot Q \cdot t_{\text{ф}} + C_{\text{нат}} \cdot Q (T_{\text{см}} - t_{\text{ф}}) \cdot K}{T_{\text{см}}} \text{ мг/м}^3, \quad (1.20)$$

де T - тривалість зміни, хв; K - відношення тривалості процесу пилоутворення до тривалості зміни.

При неможливості забезпечення ГДК або середньо змінну концентрацій x_4 , перевищують розрахункове значення інтегрального показника R (40), відповідного 5% -ному ризику захворювання, необхідне введення обмеження роботи в запиленому середовищі («захист часом»).

Залежно від ступеня біологічної агресивності пилу маса її в легких, при якій виникає захворювання, може бути різною.

Пил в- легких накопичується внаслідок того, що її затримання маса перевищує масу видаляються частинки. Процес накопичення пилу в легенях описується рівнянням::

$$g(t) = \frac{0,6x_4 \cdot Q \cdot \eta}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}), \quad (1.21)$$

де $g(t)$ - маса, пилу в легенях в момент часу t (доба) після початку роботи-в запиленому середовищі; Q - легенева вентиляція, м / добу; η - коефіцієнт затримки, пилових частинок в легені приймається рівним 0,125 ;; X_j - постійна виведення «з легких повільно виводять, фракції пилу, рана 2,31-10-3 добу для антрацитів (I 3,61-10-3 добу: - для інших вугілля.

Опубліковані в літературі дані по гранично допустимого вмісту (ПДС) пилу в легенях людини вкрай суперечливі і складають від 1,5 г до 20 г.

Розрахунок, заснований на значенні ГДК, дозволив визначити значення ПДС відповідно-для ГДК = 2 мг / м³ ПДС = 0,6 г; для ГДК = 10 мг / м³ ПДС = 1,5 м

Проведені розрахунки по повній захисту «часом» показують, що чисте застосування даного принципу не завжди прийнятно, тому що співвідношення часу роботи та реабілітації при великій запиленості (більше 10 ГДК) може становити 1: 64-1: 4.

Найбільш раціональний підхід, що полягає в забезпеченні «часткової захисту часом», коли зазначені співвідношення змінюються в межах 1: 2-г1: 3. При цьому ризик захворювання збільшується. Однак, прийнявши час роботи в запиленому середовищі не 30 років, як рекомендовано СанПіН 2.2.3.570-96, а менше 20 років, ми можемо забезпечити прийнятну періодичність процесу «робота - реабілітація». Ввівши контрактну систему найму шахтарів, що обмежує роботу в сильно запиленому середовищі 10-ь15 роками, можна знизити їх ризик захворювання до 2-4-5%.

1.5. Напрямок, ціль завдання, дослідження

Аналіз умов експлуатації прохідницьких комбайнів вибіркової дії із стрілоподібним робочим органом і ефективності застосування засобів і способів боротьби з пилом показав, що запиленість повітря у вибоях значно перевищує гранично допустимі концентрації. Причинами цього є: висока інтенсивність пилоутворення, викликана, в основному, недосконалістю руйнують органів комбайнів і високою швидкістю проходки, а також значне пиловиділення, обумовлене недосконалістю засобів і способів боротьби з пилом, що працюють в статистичному режимі, методів їх розрахунку.

Крім того, інтенсивність пиловиділення при роботі-комбайна виборчої дії нерівномірною і різко зростає при руйнуванні верхньої частини забою. Облік цього чинника при розрахунку кількості необхідного повітря за допомогою коефіцієнта нерівномірності пиловиділення, дає занадто грубе наближення, тоді як періодичність руху робочого органу, а значить і характер руйнування, мають певну закономірність зміни протягом циклу. Знання закономірностей пиловиділення з урахуванням рухливості органу

руйнування комбайна дозволить більш-обґрунтовано підходити до розрахунку кількості повітря за пиловим чинником.

- Слід зазначити, що успішне вирішення цього завдання неможливе без теоретичного і експериментального досліджень поширення повітряних напівобмежених струменів з умовах обмеженого простору, що втікають в реальний глухий кут, коли розворот мас повітря відбувається в результаті удару об площину забою.

Численні дослідження і теоретичні розрахунки показують, що залишкова запиленість повітря в більшій мірі залежить від інтенсивності пиловиділення (від початкової запиленості) і питомої витрати рідини на зрошення. Однак, незважаючи на те, що інтенсивність пиловиділення при роботі комбайна вибіркової дії змінюється у великих межах (3-10 разів), що застосовуються засоби зрошення працюють в статистичному, нерегульованому режимі з постійною витратою рідини.

З огляду на сказане, можна зробити висновок: сучасний підхід до проблеми боротьби з пилом в прохідницьких забоях із застосуванням комбайнів вибіркової дії не враховує повністю особливостей їх роботи, які полягають в постійній зміні місця розташування робочого органу - руйнує коронки, інтенсивності пиловиділення, аеродинамічних процесів в при вибійній зоні, а значить і не враховує пилову обстановку.

Наведений вище аналіз ситуації, що склалася в прохідницьких забоях в питаннях захворювання працівників на пневмоконіоз і пиловим бронхітом дозволяє сформулювати наступне завдання, вирішення яких дозволить істотно знизити ризик захворювання шахтарів:

- аналіз запиленості, на вугільних підприємствах (прохідницькі механізовані забої);
- аналіз динаміки профзахворювань у вугільній промисловості;
- уточнення закономірностей пиловиділення при роботі прохідницьких комбайнів виборчої і фронтальної дій;

- аналіз динаміки фракційного складу пилу при роботі комбайнів вибіркової дії;
- обґрунтування можливості і розробка алгоритму регулювання витрат рідини на зрошення;
- обґрунтування можливості і необхідності регулювання витрат повітря при нагнітально-всмоктуючою схемою провітрювання з урахуванням газового фактора;
- обґрунтування можливості контролю зміни продуктивності комбайна протягом одного циклу обробки площині забою;
- рішення рівняння динаміки концентрації пилу по довжині виробки при змінному пиловидаленням;
- уточнення методики розрахунку пилових навантажень прохідників.

Оцінка комплексного впливу ВПФ! в- прохідницькому забої при ефективному регульованому пилоподавлення.

Алгоритм розв'язання сформульованих завдань представлений на рис. 1.16.

витрати рідини в функції змінюється продуктивності комбайна $\sim / (A)$, л / т.

Оскільки кількість виділяється з відбитої гірничої маси пилу залежить від аеродинамічних параметрів в місці пилоутворення (тобто координат місця руйнування), потрібно така закономірність зміни витрати рідини, яка б забезпечувала мінімальну сумарну залишкову запиленість за цикл обробки площині забою при виконанні обмеження середньої витрати рідини на зрошення 1 т гірської маси. При цьому слід враховувати, також змінюється продуктивність комбайна (1) і схему обробки (6) забою.

При неможливості забезпечити необхідну запиленість в забої засобами вентиляції, зрошення та пиловідсмоктування, слід застосовувати попереднє зволоження гірського масиву.

Аеродинамічні параметри тупикового забою при роботі комбайнів виборчого і фронтального дій справляють істотний вплив на видування пилу з зруйнованої гірської маси і її поширення по перетину і довжині виробки.

Схеми обробки впливають на пиловиділення за умовами взаємодії гірської маси з повітряними потоками.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПИЛОВИДІЛЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПИЛУ

2.1. Пиловидалення при роботі комбайнів вибіркової дії.

Істотний внесок у вирішення питань пилоутворення при роботі комбайнів вибіркової дії багато вчених

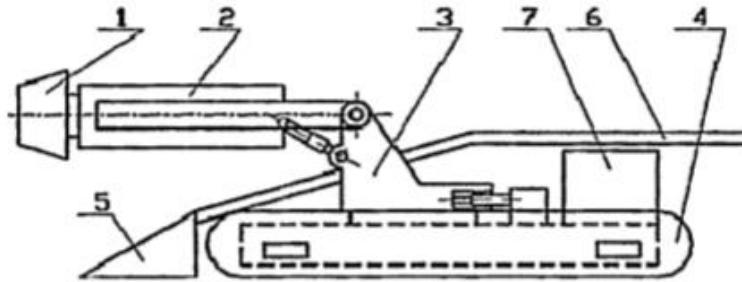


Рис. 2.1. Комбайн вибіркової дії:

1 - стріловидний виконавчий орган, до складу якого власне виконавчий орган зазвичай корончатого типу, а також його привід, т. Е. Електродвигун і редуктор;

2 - система підвіски стріловидного виконавчого органу, що складається, як правило, з стріли, шарнірно пов'язаної з поворотною рамою, а також кількох пар гідроциліндрів, що змінюють положення виконавчого органу в горизонтальній і вертикальній площинах;

3 - корпус машини або несуча рама, на якій базується все основне обладнання комбайна;

4 - ходова частина, як правило, гусеничного типу;

5 - вантажний орган, в якості якого переважного поширення набули парні нагортають лапи;

6 - конвеєр, зазвичай скребкового типу;

7 - гідро - та електрообладнання комбайна, що включає маслостанцію, станцію управління, пульт управління і т. Д.

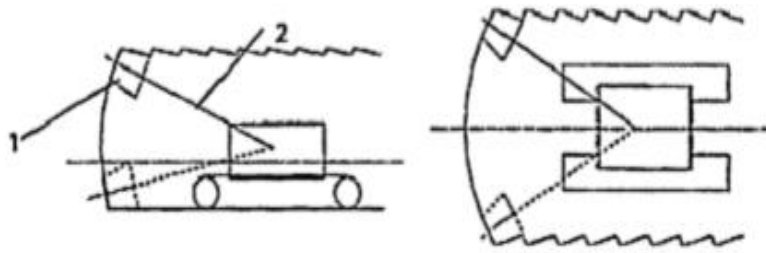


Рис. 2.2. Схема обработки поверхности выработки исполнительным органом с продольно-осевой коронкой

Запиленість при роботі комбайнів вибіркової дії (типи комбайнів із стрілоподібним робочим органом і особливості їх роботи наведені на рис. 2.1, 2.2, 2.3).

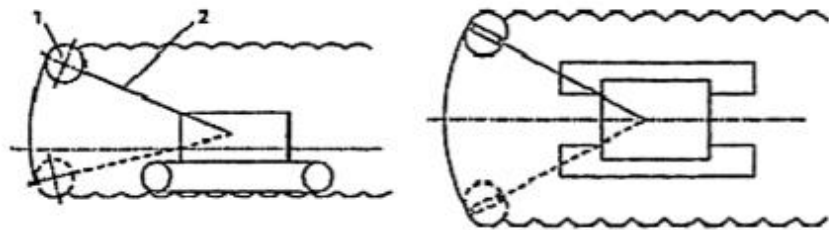


Рис. 2.3. Схема обробки поверхні виробки виконавчим органом з поперечно-осьовою коронкою

Головна особливість - змінне пиловиділення (запиленість) при руйнуванні забою в різних точках по перерізу вироблення, розрізнявальне в 3-5 разів.

Основними факторами, що впливають на процес пилоутворення при руйнуванні гірського масиву комбайнами, є:

- питома пилоутворювальну здатність вугільного пласта (d , кг/кг), значення якої може змінюватися при попередньому зволоженні гірського масиву;
- продуктивність відбою (A , т/хв), що залежить від споживаної потужності двигуна (P , кВт) при руйнуванні (причому зазначено, що питома вихід пилових фракцій менше 74 мкм визначається в основному здатністю до руйнування і питомою енергією руйнування H в Дж/кг)

$$q = 1 - \exp(-\beta \cdot H_w) \quad (2.1)$$

Енергія, що витрачається на руйнування, в свою чергу, визначається потужністю споживаної двигуном приводу коронки Р. Відома залежність:

$$\frac{P}{P_n} = \frac{M}{M_n} = \frac{u^2}{u_n^2}, \quad (2.2)$$

де P_n M_n - потужність і момент двигуна при номінальній напрузі двигуна;

P , M - потужність і момент, що розвиваються двигуном при фактичному напрузі i .

При роботі комбайнів фронтального і виборчого дій визначальними параметрами, що впливають на пилову обстановку в забої, є:

- швидкість повітря в місці руйнування гірського масиву U м/с, значення якої змінюється по
- перетину вироблення и- залежить від віддаленості нагнітального трубопроводу $x(m)$, діаметра повітропроводу D_0 (м), витрати повітря Q_0 (м³/с); перерізу виробки $S_{вир}$ і місця розташування пиловідсмоктуючого патрубку;

- ефективність пилоподавлення зрошенням, яка визначається значною мірою питомою витратою рідини $W_{ж}$ (л/т) і співвідношенням витрат ежектіруемого форсунками повітря $Q_{еж}$ і надходить в забій Q_n ($Q_n = Q_0 - Q_{сбрас}$) повітря.

- ефективність пилеуловлювальні установки, що залежить істотно від кратності пило відсмоктування

$$\alpha \left(\alpha = \frac{Q_{отс}}{Q_n} \right); \quad (2.3)$$

- поточна продуктивність комбайна A (т/с);
- схема обробки площині забою комбайном із стрілоподібним робочим органом (рис. 2.4,2.5,2.6)

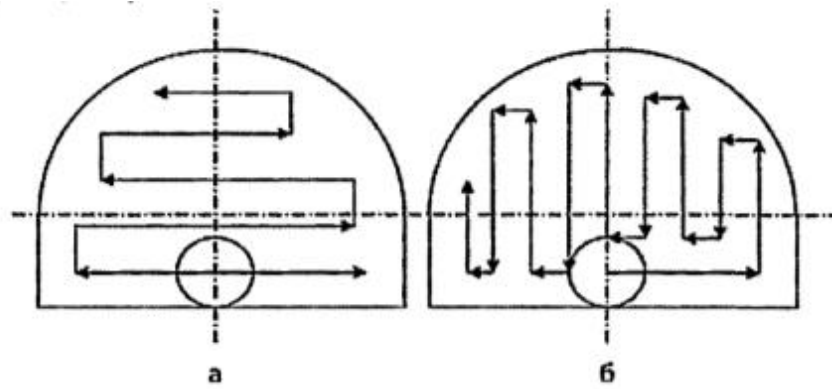


Рис. 2.4. Схеми обробки забою стріловидним ІС з поздовжньо-осьової коронкою: а - горизонтальними шарами; б - вертикальними шарами

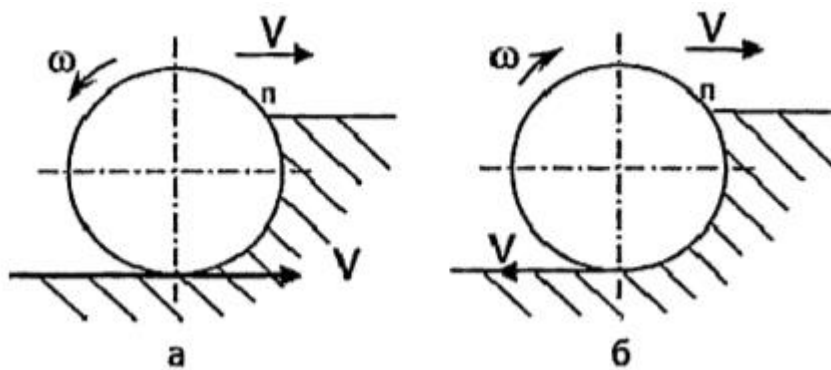


Рис.2.5. Режими роботи поздовжньо-осьової коронки: а - попутне фрезерування; б - зустрічне фрезерування

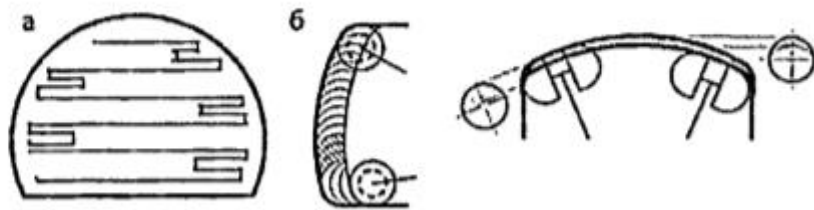


Рис. 2.6. Типова схема послідовної обробки забою (а) і режими роботи виконавчого органу з аксіальним коронками (б)

Змінюється пиловиділення при роботі прохідницьких комбайнів фронтального і виборчого дій диктує необхідність виявлення закономірностей зміни запиленості C (мг/м) і на основі цього застосування регульованих засобів пилоподавлення, що дозволить зменшити середньо

змінну концентрацію пилу в забої і знизити ризик захворювання шахтарів пневмоконіоз і пиловим бронхітом.

При виконанні робіт, пов'язаних з виділенням пилу в атмосферу непровітрюваних виробок, інтенсивність утворення аерозолів залежить від характеру виробничого процесу, фізико-механічних властивостей гірських порід, застосовуваних засобів пилоподавлення і обладнання. Утворилися при тому чи іншому процесі частинки взаємодіють з повітряним середовищем і переходять у завислий стан.

Повітряне середовище при будь-якому процесі не залишається абсолютно нерухомою через місцевих збурень, зумовлених специфікою процесу. При бурінні рухливість повітря обумовлена рухом гірників і вихлопом бурильних молотків; при навантаженні - падаючим матеріалом; під час зварювальних робіт - тепловими потоками, що виникають за рахунок високих температур, і т.д. Під впливом повітряних потоків відбуваються розсіювання частинок і усереднення їх концентрації в обсязі вироблення в місці проведення робіт.

Одночасно з утворенням аерозолів під впливом зовнішніх сил і дифузійних процесів відбувається осадження частинок на ґрунт, боки та покрівлю * вироблення. Якщо врахувати, що інтенсивність осадження прямо пропорційна концентрації-аерозолу, процес зміни концентрації пилу - за нескінченно малий час Δt при веденні робіт в непровітрюваній виробленні обмеженого обсягу, наприклад в камері, може бути описана рівнянням:

$$dn/dt = F_0/V - n(v_n S_n + v_c S_c)/V, \quad (2.4)$$

де F_0 - інтенсивність надходження пилу, мг / с; n - середня концентрація пилу у виробленні в будь-який момент часу t мг / м³; V_n - швидкість осадження частинок аерозолу на ґрунт вироблення під дією сил тяжіння, м/с; V_c - швидкість осадження частинок на поверхню боків і

покрівлі виробки за рахунок дифузійних процесів, м/с; S_n - площа ґрунту, м²; S_c - сумарна площа боків і покрівлі, м²; V - обсяг камери, м³.

У провітрюваній виробленні на процес утворення аерозолі, тобто перехід пилу під зважене стан, при безперервному виділенні пилу істотний вплив повинні надавати динамічні параметри-потoku.

Кількість пилу, що переходить у зважений стан, залежить як від властивостей відбитої маси (подріблення, вологості, і т.д.), так і від впливу зовнішньої; середовища; Чим більше динамічний напір повітряного потоку, тим більше пилових частинок переходить у зважений стан. При певних умовах інтенсивність виносу дрібних частинок може бути, настільки значною; що збільшення витрат »повітря призведе не до зниження, а зростання концентрації пилу у виробці.

Позначимо відношення інтенсивності пиловиділення в провітрюваній виробленні F до інтенсивності пиловиділення при відсутності провітрювання F_0 через K Тоді

$$\begin{aligned} F &= F_0 K, \\ K &= 1 + \phi v^2, \end{aligned} \quad (2.6)$$

де ϕ - досвідчений коефіцієнт, що залежить від виду виробничого: процесу, застосовуваних обладнання та засобів боротьби з пилом, фізико механічних властивостей гірських порід, з / м;

V - швидкість повітряного потоку:

Для «кожного виробничого процесу і прийнятого устаткування значення ϕ має визначатися експериментальним * шляхом: Таким чином,

$$F = F_0 (1 + \phi v^2). \quad (2.7)$$

З рівняння бачимо що інтенсивність безперервних джерел пиловиділення зростає зі збільшенням швидкості повітряного потоку. Питомий пиловиділення і інтенсивність пиловиділення пов'язані між собою залежністю:

$$J = Ft/T, \quad (2.8)$$

Де t - чистий час буріння, навантаження, скеперування і т.п., с; T - обсяг; виконаної роботи, м або т.

З рівнянь; (2.7) і (2.8) слід,, що між удільним - пиловиділенням і швидкістю вентиляційної; струменів існує закономірність:

$$J = J_0 (1 + \Phi v^2), \quad (2.9)$$

Де j_0 - питомий пиловиділення в непровітрюваній виробленні, мг / м або мг / т.

На відміну від наскрізних виробок, тупикові вибої провітрюються турбулентними »струменями: Тому інтенсивність пиловиділення; залежна від рухливості повітряних мас, буде залежати від параметрів вільної; струменя; провітрювати тупикову частину вироблення.

Аналіз експериментальних даних дозволив встановити, що зі збільшенням; швидкості повітря у вибої зростає інтенсивність утворення аерозолів «при: всіх пиловиділяючих процесах. При цьому приріст інтенсивності пиловиділення прямо пропорційно середньому динамічному напору ядра постійної маси у грудях забою.

За аналогією з (2.7) залежність інтенсивності пиловиділення (мг/с) в тупиковій виробці від швидкості вентиляційного струменя у забою можна виразити у вигляді рівняння:

$$I = I_0 (1 + \Phi U_{cp}^2), \quad (2.10)$$

де U_{cp}^2 — середня швидкість ядра постійної маси у грудях забою, м/с. Відомо, що середня швидкість ядра постійної маси в будь-якому перетині струменя пропорційна осьовій швидкості

$U_{cp} = a_1 U_m$ де U_m - осьова швидкість вільного струменя, м/с; a_1 - коефіцієнт пропорційності

Підставив в (2.10) значення, U_{cp}^2 , получимо:

$$I = I_0 (1 + \varphi (a_1 U_m)^2), \quad (2.11)$$

Так як значення a_1 не залежить від зовнішніх причин і в усіх випадках залишається постійним, рівняння (2.11) можна записати у вигляді

$$I = I_0 (1 + \varphi' (U_m)^2),$$

где $\varphi' = a_1^2 \varphi$. (2.12)

Значення осьової швидкості вільного струменя у грудях забою U_m залежить від швидкості виходу повітря з вихідного отвору вентиляційного трубопроводу U_0 , діаметра вихідного отвору d , видалення кінця трубопроводу від забою l_1 і коефіцієнта структури вільного струменя a . взаємозв'язок між цими величинами виражається залежністю:

$$U_m = K_\phi 0,816 U_0 / (2 a l_1 / d + 0,417). \quad (2.13)$$

Для круглої вільної струменя коефіцієнт структури $a = 0,06-0,08$.

Підставивши в (2.12) (2.13), отримаємо:

$$I = I_0 (1 + \psi l_1 (K_\phi 0,816 / (2 a l_1 / d + 0,417))^2 U_0^2),$$

где $\psi = \varphi' / l_1$.

Висловлюючи інтенсивність пиловиділення через питомий пиловиділення, отримаємо:

$$J = J_0 (1 + \psi l_1 (K_\phi 0,816 / (2 a l_1 / d + 0,417))^2 U_0^2). \quad (2.15)$$

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням швидкості ядра постійних мас одночасно зі зростанням інтенсивності пиловиділення змінюються дисперсний склад аерозолі. Зменшується процентний зміст фракції з розміром частинок менше двох мікрон і зростає зміст фракцій з більш великими частками.

Як зазначалося раніше, пиловиділення при роботі прохідницьких комбайнів вибіркової дії із стрілоподібним робочим органом характеризується значною нерівномірністю, що залежить від місця розташування джерела пиловиділення по перетину вироблення.

При цьому виявлено, що зміна інтенсивності пиловиділення буде визначатися режимом роботи комбайна, розмірами виробки, аеродинамічними параметрами при вибійної зони.

Основні фактори, що впливають на запиленість атмосфери, які можуть змінюватися в процесі проходки:

1. Режим руйнування, що характеризується швидкістю різання і подачі комбайна, а також конструкцією і розмірами виконавчого органу-коронки.
2. Швидкість повітряного потоку V / в у джерела пилоутворення.
3. Висота падіння відбитої гірничої маси.
4. Місцезнаходження джерела пиловиділення по відношенню до нагнітального трубопроводу і пиловідсмоктувальної установці.
5. Ефективність засобів боротьби з пилом при роботі прохідницького комбайна.

Загальна пиловиділення G при роботі прохідницького комбайна із стрілоподібним робочим органом складається з пиловиділення при руйнуванні масивів коронкою G_k , пиловиділення при падінні зруйнованої гірської маси на ґрунт вироблення G_n пиловиділення при роботі навантажувальних органів G_r

$$G = G_k + G_n + G_r + G_{\text{пересип}} \quad (2.16)'$$

При постійному питомому Пилоутворення, характерному для конкретного розроблюваного пласта, пиловиділення G_k буде визначатися режимом роботи коронки і її конструктивними параметрами (діаметром, кількістю різців, їх типом і ін.).

$$G_k = a_k \cdot q_{\text{пл}} \cdot A \cdot V_{\text{рз}} \cdot \delta \cdot \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot \left(\frac{\beta \cdot l_k}{360 \cdot \delta} - \frac{\beta}{360} + \frac{l_k}{\pi \cdot d_{\text{ср}}} + 1 \right),$$

де G_k - пиловиділення при руйнуванні масиву, г / с;

a_k - коефіцієнт розмірності і пропорційності; $q_{пл}$ - питомий пиловиділення, г / т; A - продуктивність відбою, т / с; $V_{рз}$ - швидкість різання, м / с. Як зазначається рядом авторів¹, інтенсивність пиловиділення при руйнуванні має пропорційну залежність від швидкості повітряного потоку у джерела пилоутворення, тобто:

$$G \equiv U_{\epsilon}.$$

Велика кількість пилу переходить у зважений стан в результаті падіння відбитої гірничої маси за рахунок впливу вентиляційного потоку і внаслідок різниці швидкості падіння частинок вугільного пилу різних розмірів.

Очевидно, чим більше час взаємодії повітряного потоку з падаючої масою, тим більша кількість пилу перейде у зважений стан.

Аналіз дозволяє виділити найбільш істотні фактори, від яких залежить нерівномірність пиловиділення. До них відносяться:

- продуктивність роботи комбайна;
- аеродинамічні умови в місці пилоутворення;
- висота падіння відбитої гірничої маси.

Якщо врахувати, що зміст в зруйнованому вугіллі частинок пилу розміром 70 мкм коливається від 1% до 8% видобутої маси, то можна г вважати, що кількість пилу; здатної до виділення на кожному етапі, залишається незмінним. Тоді (2.17) може бути представлено у вигляді

$$G = A \cdot q_{пл} \cdot (a_k \cdot K_{uo} + a_n \cdot U_{\epsilon}^2 \cdot K_n + a_r \cdot U_{\epsilon}), \quad (2.18)$$

Отриманий вираз (2.18) дає тільки якісне уявлення про характер зміни інтенсивності пилевиділення⁴ при комбайні вибіркової дії.

Аналітичне рішення (2.18) не може через відсутність чітких залежностей, що дозволяють знаходити значення відповідних аеродинамічних характеристик "а".

На підставі експериментальних даних вченими було отримано наступне рівняння регресії для інтенсивності пиловиділення, що змінюється з висотою падіння відбитої гірної маси, до і швидкості ір у джерела пиловиділення:

$$I = I_0 \cdot (1 + 0,22h + 0,67U_p^2 + 0,11U_p) \quad (2.19)$$

Утворюється в процесі руйнування і навантаження «гірної маси пил поширюється по забою, потрапляючи на робочі місця прохідників, погіршуючи умови; праці .. Знання закономірностей зміни концентрації, пилу, по перетину і довжині, вироблення в часі, є необхідною умовою боротьби з пилом.

При русі по виробленню концентрація пилу в повітрі знижується за рахунок осідання частинок на стінки і ґрунт вироблення, за рахунок коагуляції і застосовуваних засобів боротьби з пилом.

У загальному випадку, як вказується багатьма дослідниками, запиленість повітря "Сх" на відстані Х від джерела пилоутворення може бути виражена спрощеною формулою:

$$C_x = C_0 \cdot e^{-\beta \cdot X_u}, \quad (2.20)$$

де С₀ - запиленість повітря при Х_і = 0, мг/м; - коефіцієнт, що враховує випадання пилу в міру руху. Для джерела з постійною інтенсивністю пилоутворення може бути рекомендована для розрахунку уточнена формула дифузійно-конвективного переносу:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_r \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x_u^2} - (U + V) \cdot \frac{\partial C}{\partial x_u} - \beta \cdot C \quad (2.21)$$

з крайовими умовами:

$$\begin{cases} C(0,t) = C_0 = \frac{I_0}{S(U+V)}; \\ C(x,0) = 0 \end{cases} \quad \frac{\partial C}{\partial x_u} \Big|_{x_u=l} = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial x_u} \Big|_{t=0} = 0,$$

де C (ХТ) - середня по перерізу вироблення концентрація пилу у вентиляційному потоці, мг/м³;

D_T - коефіцієнт турбулентної дифузії, м/с; U - середня швидкість вентиляційного потоку, м / с; V - швидкість подачі комбайна, м/с; t - час роботи комбайна, с; x_u - відстань до джерела пиловиділення, м; λ - коефіцієнт осадження частинок пилу, 1 / с; I_0 - інтенсивність пиловиділення, мг/с;

S - площа перерізу виробки, вільна для проходу повітря, м. Рішення рівняння поздовжньої турбулентної дифузії:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x_u} = D_T \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x_u^2} \quad (2.23)$$

з крайовими умовами:

$$\begin{cases} C(0,t) = F(t) \\ C(\infty,t) = 0 \\ C(x_u,0) = 0 \end{cases}$$

$$C(x,t) = \frac{x_u}{\sqrt{D_T \pi}} \cdot \int_0^{\sqrt{t}} \frac{F(t-\tau)^2 \cdot \exp \cdot \left[\frac{1}{4D_T} \cdot \left(U \cdot \tau - \frac{x_u}{\tau} \right)^2 \right]}{\tau^2} d\tau, \quad (2.25)$$

Вивчення динаміки запиленості необхідно для визначення концентрації пилу на певній ділянці, а також для уточнення місця установки датчиків з точки зору встановлення зв'язку показань апаратури з запиленістю в необхідних точках, а також достовірності одержуваної від

датчиків інформації. В кінцевому рахунку це-дозволить вирішити задачу раціонального використання системи дистанційного контролю запиленості.

Виходячи з експоненціального закону зміни концентрації пилу по довжині виробки запропоновано ряд формул для визначення можливої концентрації пилу на будь-якій відстані »від джерела її утворення при відомому первинному значенні концентрації пилу у джерела освіти.

На основі теоретичних робіт Великанова М. А., Баренблатта Г. І. та Колмогорова А. Н. в області механіки багатокомпонентних потоків Фуксом Н. А., Вороніним В. Н. і Бурчаковим А. С. були запропоновані формули, що описують зміну концентрації пилу. З робіт, присвячених вивченню розповсюдження пилу у виробках, також слід відзначити дослідження Скобунова В ;. В., Москаленко Е. М. та Ореховою Н.

Для гравітаційного осадження В.П. Вороніним запропоновано вираз, що описує динаміку зміни запиленості повітря від відстані

$$K = K_0 \exp \left[\frac{-K_T \cdot \ell \cdot v_a}{h \cdot v} \right], \quad (2.26)$$

де K_0 - початкова запиленість, г / м; V_v - швидкість витання частки, м/с; d_0 - середня висота виробки, м;

K_T - коефіцієнт, що враховує турбулентний перемішування. Для опису зміни концентрації зваженої в повітрі пилу, викликаного адгезію частинок на поверхні виробки, В.П. Вороніним запропоновано вираз:

$$K = K_0 \exp \left[-0,02\psi \frac{\ell_n \ell}{SR_1} \sqrt{(\rho_n q_B r^2)/(4S_B d_c)} \right], \quad (2.27)$$

Згідно з дослідженнями, закон зміни концентрації пилу по довжині виробки може описуватися виразом:

$$K_i = \sum K_{0i} \exp \left[\frac{\ell}{R_s} \left(a + b \frac{v_{hi}}{v} \right) \right],$$

Не дивлячись на фізичну обґрунтованість цієї формули, цінність її для практичних розрахунків невелика, так як визначення ряду! величин., що входять в неї, досить важко.

Наведені вище висловлювання не враховують перехід частинок пилу в аерозольний стан. Тим часом в гірських виробках відбувається видування пилу з відбитого вугілля і здування її з їх. стінок. У першому * разі збільшення концентрації пилу пов'язане зі швидкістю руху повітря квадратичною залежністю, у другому - експоненціальністю 5 з різницею V - де укр критична швидкість при якій починати процес здування пилі з поверхонь вироблення, м/с.

Критична швидкість залежить від площі поперечного перерізу виробки і становить $u_{кр} > 10,1 \text{ Л9в}$.

В очисних вибоях критична швидкість змінюється в межах 2-5 м/с. Воронін В, Н., розглядаючи; задачу в теоретичному аспекті, приходить, до висновку, що пиловий потік слід розглядати що складається? з двох фаз: першої - більшої, брали в облогу під дією сили тяжіння і другий - більш дрібної, брали в облогу внаслідок прилипання пилу;

1. Зміна концентрації внаслідок осадження пилу під дією сил тяжіння:

$$\begin{aligned} K_1 &= K_0 \cdot e^{-B}; \\ B &= \varphi \frac{L}{h} \cdot \frac{v}{w}, \end{aligned} \quad (2.29)$$

Зміна концентрації внаслідок прилипання пилу:

$$\begin{aligned} K_2 &= K_0 \cdot e^{-A} \\ A &= 0,02 \cdot m \frac{PL}{SR} \sqrt{\frac{\rho Q d^2}{S \cdot d_{ок}}}, \end{aligned}$$

Виходячи з цього і теорії турбулентної дифузії, Вороніним В. Н. запропонована наступна залежність

$$K_1 = K_0 \exp\left[-\varphi \frac{Lv}{hw}\right] + K_0 \exp\left[-0,02m \frac{PL}{SR} \sqrt[4]{\frac{\rho Q d^2}{S d_{ок}}}\right], \quad (2.33)$$

Професор Бурчак А. С. для визначення зміни концентрації пилу по довжині виробки пропонує наступну формулу:

$$C_x = C_1 \exp\left[-\frac{x}{R}(a+b)\frac{V_{s1}}{U_{cp}}\right] + C_2 \exp\left[-\frac{x}{R}(a+b)\frac{V_{s2}}{U_{cp}}\right] + \dots + C_n \exp\left[-\frac{x}{R}(a+b)\frac{V_{sn}}{U_{cp}}\right],$$

C_1, C_2 - концентрації пилу по окремим фракціям, г/м

x - відстань від розглянутого перерізу до початкового, м;

R - гідравлічний радіус вироблення, м;

$V_{s1}, V_{s2}, \dots, V_{sn}$ - швидкість витання часток різних фракцій, м/с;

U_{cp} - середня швидкість повітряного потоку в виробленні, м/с;

a і b - постійні коефіцієнти: при $v_s/u \leq 2 \cdot 10^{-4}$ $a=0,15$; $b=200$; при $v_s/u >$;

$2 \cdot 10^{-4}$ $a=0,19$; $b=1,33$; $V_{s1}, V_{s2}, \dots, V_{sn}$ - швидкості осідання частинок пилу розміром першого, другого і n -го діапазонів.

Гідравлічний радіус дорівнює:

$$R = \frac{2S}{P};$$

де S - площа поперечного перерізу виробки, м²;

P - периметр вироблення, м;

Характерною особливістю даної формули є те, що вона, поряд з такими параметрами як довжина і гідравлічний радіус вироблення, враховує розподіл пилу по фракціям.

Запропонована формула описує механізм руху турбулентних потоків, що несуть тверді частки, в гірських виробках. Однак вона для практичних розрахунків складна.

Для визначення зміни концентрації пилу Фуксом Н. А. була виведена наступна формула:

$$n(r) = n_0(r) \exp \left[-\frac{V_s(r)t}{H} \right], \quad \text{де}$$

n_0 - початкова концентрація пилу, мг/м³;

V_s - швидкість витання часток, м/с;

H - висота камери, м.

З формули видно, що концентрація частинок пилу певного розміру змінюється в часі за експоненціальним законом.

Зміна ваговій концентрації згодом може бути виражена таким рівнянням:

$$C = \int_0^{\infty} C_0(r) \exp \left[-\frac{V_s(r)t}{H} \right] dz,$$

Аналіз наведеної формули показує, що- вона не дозволяє визначити зміну концентрації пилу по довжині виробки.

Можна зробити розрахунок за формулою (2.37):

$$C_s = C_0 \cdot e^{-\mu l},$$

де C_s - концентрація пилу в обраному місці вироблення, мг/м³;

C_0 - початкова концентрація пилу в місці пилоутворення, мг/м³;

e - основа натурального логарифма; t - коефіцієнт загасання концентрації, 1/м;

l - відстань від місця пилоутворення до місця, де необхідно визначити концентрацію пилу, м.

$$t = m \sqrt{\frac{S}{Q}},$$

де m - коефіцієнт, що враховує осідання частинок пилу, $m=0,064$ - для очисного забою; $m = 0,052$ - для підготовчої виробки;

S - площа поперечного перерізу виробки, м^2 ; <2 - кількість повітря, що проходить, $\text{м} / \text{с}$.

де V - швидкість руху повітря, м/с .

Зміна концентрації по довжині виробки, що визначає відкладення пилу на стінках, знаходиться з виразу:

$$C_x = C_0 10^{-k \frac{x}{\text{Re}} f \left(\frac{V}{V_{\text{до}} \right)},$$

де C_0 - запиленість повітря в початковому перерізі, мг/м ;

до k - коефіцієнт осідання пилу (для пластів Донбасу змінюється від 0,01 до 0,17);

x - відстань від початкового перетину, м ;

f - коефіцієнт пропорційності між відносним падінням концентрації пилу і відстанню між двома близько розташованих перетинами;

V - швидкість руху пилових частинок, м/с ;

$V_{\text{ср}}$ - середня швидкість повітря у виробці, м/с .

Ця залежність стосовно до очисних виробках шахт Донбасу. Разом з тим відомо, що характер поширення шахтних аерозолів в очисних і вентиляційних виробках різний.

В умовах шахт Донбасу динаміка запиленості повітря в вентиляційних штреках досить точно описується емпіричним виразом

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{a + |bL|},$$

де K -концентрація пилу на відстані L від джерела пилоутворення,

K_0 - початкова концентрації пилу у джерела пилоутворення, $K_0=500$ $\text{мг} / \text{м}$;

L - відстань від джерела пилоутворення до місця виміру, м .

Наведена формула справедлива для умов, коли зміна концентрації пилу відбувається під дією сили тяжіння. Дана формула рекомендується

для розрахунку пиловідкладення тільки у виробках, що не вміщують джерело пилоутворення (вентиляційні штреки).

Ця формула для визначення концентрації не дає точного опису процесу зміни концентрації від відстані до місця виміру. У ній не враховуються параметри: швидкість руху * повітря по виробці; площа перерізу виробки та інші.

Зміна концентрації пилу по довжині виробки може виражатися наступною залежністю: 2 у, е

$$C = C_0 \cdot e^{\frac{2V_s l}{\pi R U_b}}, \quad (2.41)$$

де C_0 - концентрація пилу у джерела пилоутворення, мг/м³;

C - концентрація пилу на видаленні від пилеісточника, мг/м³;

V_s - стаціонарна швидкість осідання частинок, м/с;

U_b - швидкість руху повітря по виробленню, м/с;

R - радіус вироблення, м;

l - відстань від джерела пилоутворення, м.

Раніше наведеними, дослідженнями встановлено, що представлена залежність при ряді припущень відображає дієвий характер зміни запиленості повітря у виробці.

Концентрація »пилу в обраному місці вироблення може бути визначена за формулою:

$$C_s = C_0 \cdot e^{-bl}, \quad (2.42)$$

де C_s - концентрація пилу в обраному місці вироблення, мг/м³;

C_0 - початкова концентрація пилу в місці пилоутворення, мг/м³;

e - основа натурального логарифма;

b - емпіричний коефіцієнт, 1/м;

l - відстань від місця пилоутворення до місця, де необхідно визначити концентрацію пилу, м.

Коефіцієнт видання змінюється в залежності від швидкості. Для швидкості руху повітря $V = 0,5$ м/с - коефіцієнт $b = 0,1$ 1/м.

Залежність (2.42) не відображає дієвий характер зміни запиленості повітря у виробці.

Питаннями вивчення поширення і відкладення пилу в гірничих виробках займалися також зарубіжні дослідники.

Так, американськими дослідниками Д. Нешем і Д. Мітчелом для визначення запиленості повітря в гірничих виробках з вихідним струменем повітря пропонується емпірична залежність виду:

$$W = \frac{1}{(a + bD)^2},$$

де I - відстань від джерела пилоутворення, м;

a і b - постійні коефіцієнти, які визначаються з досвіду.

Автори вважають, що загальна кількість осілого пилу в виробленні може бути отримано з рівняння:

$$Q = \int W dD = \int \frac{dD}{(a + bD)^2}. \quad (2.44)$$

Загальним недоліком наведених емпіричних формул є те, що вони дають лише часткове рішення питання поширення пилу в гірничій виробці з певними і незмінними вентиляційними параметрами, зокрема, при постійному поперечному перерізі. У той же час в шахтах, як показує практика, поперечний переріз протяжних виробок рідко залишається постійним.

При бурінні глухого забою запропоновано вираз для зміни-концентрації пилу в міру віддалення від її джерела:

$$C = C_0 e^{-\beta \frac{\ell}{Q}}, \quad (2.45)$$

де C_0 - концентрація у джерела пилу, мг/м;

B - коефіцієнт, що враховує випадання частинок з потоку, м/с;

l - відстань від джерела, м;

Q , - витрата повітря у виробці, м/с:

Ця залежність дозволяє визначити концентрацію пилу тільки при бурінні глухого забою.

Для шахт Донбасу запропонована залежність зміни концентрації пилу по довжині штреку у вигляді:

$$C = \frac{C_0}{1 + f_0 l} = \frac{C}{1 + 0,03 l}, \quad (2.46)$$

де C_0 - коефіцієнт, що враховує осадження пилу.

За даними «авторів зміна концентрації пилу для умов Донбасу рекомендується визначати за формулою:

$$C = C_0 (0,875 e^{-0,025 l} + 0,125 e^{-0,00125 l}). \quad (2.47)$$

Залежність (2.47) отримана, з урахуванням випадання з потоку крупних - частинок (перший член виразу в дужках) і дифузного осадження дрібних. Дифузна складова; спадає з відстанню вкрай повільно і становить величину порядку $10^{-1} = 2\%$ від початкового значення концентрації;

Наведені вище залежності (2.46), (2.47) дають уявлення про загальний характер зміни концентрації по довжині виробки і отримані для середніх значень параметрів пилу, штреків і потоків в них.

Більш універсальною є залежність, отримана в роботі: пг

$$C = C_0 e^{-m_0 \sqrt{\frac{S}{Q^3}} l}, \quad (2.48)$$

де m_0 - досвідчений коефіцієнт осадження частинок, що враховує властивості пилу і поверхні осадження, м/ч з/год;

S - перетин вироблення, м²;

Q - кількість повітря, що проходить по виробленню, м/с.

$$b = m_0 \sqrt{\frac{S}{Q^3}}, 1/м \quad (2.49)$$

- характеризує темп зменшення концентрації пилу при видаленні від джерела її утворення.

Цей вислів. дозволяє врахувати можливі зміни перетину штреку, швидкості повітря та властивостей пилу;

Середні значення коефіцієнта, що враховує осідання пилу в штреках, складалося то = 0,048. У міру подовження лави його значення наближаються до асимптотичним то - 0,042.

Таким чином, характер зміни, концентрації пилу на вентиляційному штреку незалежно від положення комбайна в лаві можна представити у вигляді:

$$C = C_0 e^{-0,048 \sqrt{\frac{s}{Q^3}} t}, \quad (2.50)$$

У підготовчій; комбайнового виробленні за даними роботи отримано таке значення коефіцієнта то = 0; 52 ± 0,002. Отже, як і для вентиляційного штреку; можна записати вираз:

$$C = C_0 e^{-0,052 \sqrt{\frac{s}{Q^3}} t} \quad (2.51)$$

Залежність (2.48) у вигляді експоненти дозволяє врахувати перетин вироблення і витрата повітря в ній. Крім того, експонента більше відповідає суті явища:

Аналіз формул розподілу концентрації пилу в поперечному перерізі виробки:

Дослідженнями А.С. Бурчакова і Е. М; Москаленко отримана залежність розподілу концентрації пилу в поперечному перерізі виробки.

$$C_y = C_{z0} \exp\left(-\frac{v_s y}{0,44 v_B Re^{0,75}}\right), \quad (2.52)$$

де С-о - концентрація пилу у підшви виробки, мг / м³; у - відстань від ґрунту до стінки виробки, м; v_B - кінематична в'язкість повітря, м / с.

Необхідно вказати, що значення концентрації навпаки людського ходка підставляли і перевіряли в інших виробках. Концентрації у ґрунті визначити зворотним способом.

Концентрація для частинок з $\gamma = 1$ мкм по вертикалі практично не змінюється. Для полідисперсних частинок ($\gamma = 20 - 60$ мкм) нерівномірність розподілу концентрації по вертикалі спостерігається у всьому інтервалі допустимих швидкостей руху в лаві (0,4-3,0 м/с).

Закономірність зміни концентрації пилу по ширині вироблення може бути описана залежністю:

$$\frac{C}{C_M} = a \cdot e^{-\epsilon \frac{y^2}{R^2}},$$

де C - концентрація пилу в будь-якій точці перетину по ширині вироблення,

вироблення, мг/м³;

C_M - максимальна запиленість в цьому перерізі, мг/м;

y - відстань від осі виробки, м; K - половина ширини виробки, м;

R - зміщення джерела пилоутворення від середини вироблення, м;

a, ϵ ~ максимальна запиленість в цьому перерізі, мг/м;

y - відстань від місця вимірювання концентрації до джерела пилоутворення, м;

R - половина ширини виробки, м;

a, b - коефіцієнти, що враховують аеродинамічні характеристики вироблення, концентрацію і властивості пилу та ін. Визначення яких в реальних умовах представляє певну складність.

При асиметричному ставленні до осі виробки.

Закон зміни концентрації пилу по ширині вироблення описується залежністю a, b - коефіцієнти, що враховують аеродинамічні умови вироблення, концентрацію і властивості пилу та ін.

Наведені вище рішення можуть бути застосовані лише в обмежених умовах. При змінній інтенсивності пилоутворення $1 = P(1;)$, яка має місце при роботі прохідницького комбайна вибіркової дії із стрілоподібним органом, найбільш точне рішення дає метод, розроблений і застосований К.Ю. Лайгна. Метод полягає в розбитті довільної функції $B(1;)$ на ступінчасті функції.

Граничні умови в початковому перерізі виробки визначаються у вигляді ступінчастої функції:

$$\begin{aligned} C_0 &= F(t); t \in [0, \tau] \\ C_1 &= F(t); t \in [\tau, 2\tau] \\ C_2 &= F(t); t \in [2\tau, 3\tau] \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ C_n &= F(t); t \in [n\tau, (n+1)\tau] \end{aligned} \quad (2.55)$$

Таким чином, в кожному проміжку часу τ концентрація домішки

$$C = C_m = \frac{q_i}{Q},$$

може бути визначена по залежності:

де C_{ij} - концентрація домішки в проміжку часу від $(i-1)\tau$ до $i\tau$; q_i - кількість виділилася домішки в тому самому проміжку часу, мг/с;

Q - витрата повітря, м³/с. Визначаючи граничні умови за формулою (2.52), слід враховувати і початкове розбавлення за формулою (2.53).

Для полегшення подальших розрахунків висловимо гранична умова за допомогою одиничної функції Хевісайда у вигляді:

$$\begin{aligned} C(t) &= [H(t) - H(t - \tau)] \cdot C_0, nput \in [0, \tau] \\ C(t) &= [H(t - \tau) - H(t - 2\tau)] \cdot C_1, nput \in [\tau, 2\tau] \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ C(t) &= [H(t - n\tau) - H(t - (n+1)\tau)] C_n, nput \in [n\tau, (n+1)\tau] \end{aligned} \quad (2.57)$$

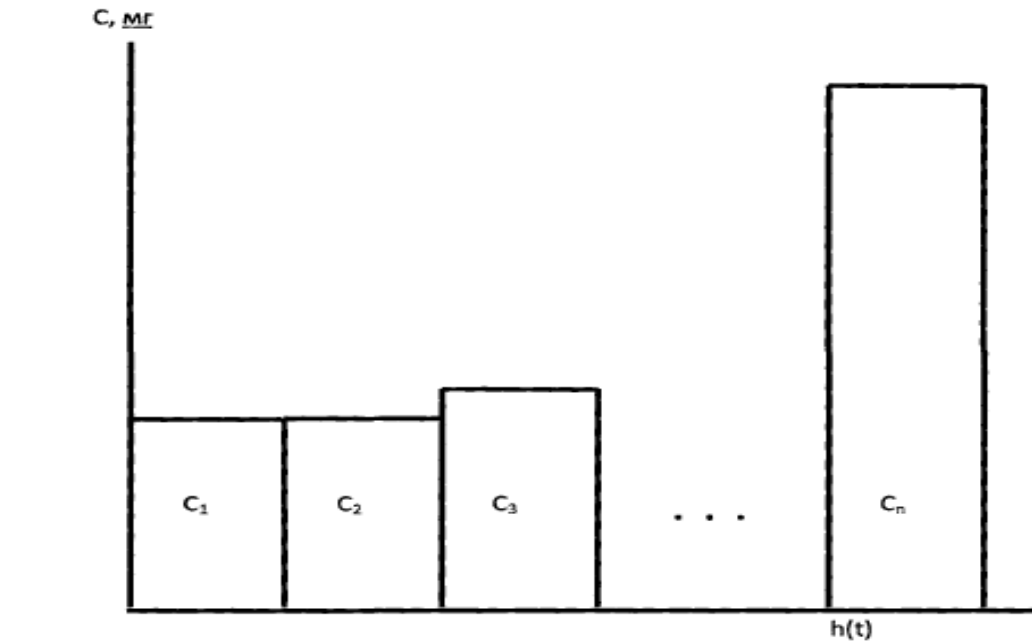


Рис. 2.7 До розрахунку запиленості по довжині виробки.

У загальному випадку, прийнявши перетворення Лапласа, гранична умова в просторі зображень має вигляд:

$$\hat{C}(0, p) = \frac{1}{p} \exp(-\tau \cdot p) \cdot \sum_{i=0}^n C_{mi} \exp(-i\tau p)$$

Уравнение турбулентной диффузии примеси в пространстве изображений будет:

$$\begin{aligned} \hat{C} = & K_1 \exp \left[\frac{U \cdot x}{2 \cdot D_x} + x \left(\frac{U^2}{4 D_x^2} + \frac{p + \gamma}{D_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] + \\ & + K_2 \exp \left[\frac{U \cdot x}{2 \cdot D_x} - x \left(\frac{U^2}{4 D_x^2} + \frac{p + \gamma}{D_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \end{aligned} \quad (2.59)$$

Постійні інтегрування K_1 і K_2 визначаються виходячи з граничних умов. При цьому враховується, що при $x \rightarrow -\infty$ функція "С", а значить повинні бути обмежені, тобто $C \geq 0$, отже $K_2 = 0$. Постійна K_1 визначається зображенням граничної умови при $x = 0$. З урахуванням сказаного (2.58) набуде вигляду:

$$\hat{C} = \frac{1}{p} [1 - \exp(-\tau p)] \cdot \sum_{i=0}^n C_{mi} \cdot \exp \left\{ -i\tau p + \left[\frac{U \cdot x}{2 D_x} - x \left(\frac{U^2}{4 D_x^2} + \frac{p + \gamma}{D_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad (2.60)$$

Для переходу до простору оригіналів застосовуємо теорему і формулу звернення

$$\begin{aligned} L[f(t - \alpha)] &= f(p) \exp(-\alpha p) \\ L[f(t) \exp(\alpha t)] &= f(p - \alpha) \end{aligned} \quad (2.61)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{p - \alpha} \exp(-qx) &= L \left\{ \frac{1}{2} \exp(\alpha t) \cdot \exp(-x_u \sqrt{\frac{\alpha}{D_x}}) \cdot \right. \\ &\cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x_u}{2\sqrt{D_x t}} - \sqrt{\alpha t} \right] + \frac{1}{2} \exp(\alpha t) \cdot \\ &\cdot \exp(x_u \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{D_x}}) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{x_u}{2\sqrt{D_x t}} + \sqrt{\alpha t} \right] \left. \right\} \end{aligned} \quad (2.62)$$

где

$$\operatorname{erfd}(\varphi) = 1 - \operatorname{erf}(\varphi) \quad (2.63)$$

$$\operatorname{erd}(\varphi) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{\varphi} e^{-\psi^2} \cdot d\psi \quad (2.64)$$

В результаті звернення отримаємо розрахункову формулу для концентрації:

$$C = \frac{1}{2} \left\{ \exp \frac{x_u}{2D_x} \left(U - \sqrt{U^2 + 4D_x \gamma} \right) \right\} \cdot \sum_{i=0}^n C_{ni} \cdot \left\{ \operatorname{erfc} \frac{x_u - U(t - i\tau)}{2\sqrt{D_x(t - i\tau)}} - \operatorname{erfc} \frac{x_u - U[t - (i+1)\tau]}{2\sqrt{D_x[t - (i+1)\tau]}} \right\} \quad (2.65)$$

Для кожного конкретного перетину x визначається зміна в часі. Для цього задається час виділення домішки Крок часу при обчисленнях слід брати рівним кроку $\tau \sim * \text{ год, п.}$

Концентрацію в початковому перерізі $x = 0$ в будь-який момент можна визначити з виразу

$$C_{ni} = \frac{I_{ni}}{Q}, \quad (2.66)$$

де I_{ni} - інтенсивність пиловиділення в даний момент часу, мг/с;

Q - витрата повітря, м/с.

Витрата повітря в вираженні (2.63), середні швидкості і коефіцієнт турбулентної дифузії

"Д" легко визначаються. Отже, складність вирішення вираження (2.65) полягає в знаходженні значень інтенсивності пиловиділення в будь-який момент часу.

Оскільки функція $1 \cdot 1 =$ не може бути отримана аналітичним шляхом, як зазначалося вище, стоїть завдання експериментального визначення її. Це дозволить виявити вплив окремих факторів на пиловиділення, прогнозувати пилову обстановку в забої і цілеспрямовано впливати на процес пиловиділення, ефективно використовуючи кошти і способи боротьби з пилом.

висновки

1. На підставі наших досліджень і досліджень інших авторів зміна концентрації пилу по довжині виробки підпорядковується експоненціальним законом.

2. Аналіз наведених вище формул показав, що для опису закономірності зміни концентрації вугільного пилу в гірничих виробках можна використовувати чотири залежності (2.26), (2.37), (2.41), (2.42). Вони дозволяють врахувати можливі зміни перерізу виробки, гідравлічного радіуса вироблення, швидкості повітря та властивостей пилу. Після порівняння цих залежностей з даними експериментів можна визначити ту, яка найбільш адекватно відображає реальні умови.

3. Для визначення місця установки датчика необхідно знати закономірність зміни концентрації пилу в просторі: зміна концентрації пилу по довжині гірської-вироблення і в її перетині.

4. Проведені розрахунки існуючих залежностей зміни концентрації пилу по довжині виробки показали, що розкид отриманих даних коливається від 50 до 100%, що вказує на необхідність перевірки останніх для коригування їх з урахуванням конкретних умов.

5. Найбільш повно описує процес поширення пилу при «роботі прохідницького-комбайна вибіркової дії метод К.Ю. Лайгне.

2.1. Аеродинаміка тупикового забою

При нагнітальному провітрюванні процес виносу газопилових продуктів з привибійної зони здійснюється турбулентним струменем, теоретичні основи яких були розроблені Г.Н.Абрамовічем. На виході з трубопроводу розширення повітряного струменя за рахунок ежекції повітряних мас вироблення обмежується її вільним простором. При цьому- можливі різні умови повітрообміну в робочій зоні вироблення (рис. 2.8). Максимальна ефективність виносу домішок з привибійної зони спостерігається при певному співвідношенні B / a (рис. 2.8). Якщо $a > B$, то між точкою повороту струменя і забоем утворюється пробка (рис. 2.8 г). У цій зоні домішка виганяється приєднаним вихором до ґрунту, а потім у верхню частину вироблення. Обсяг приєднаної маси забрудненого повітря і зниження концентрації домішки в ній залежить від багатьох факторів. Так, якщо для круглої необмеженої струменя маса приєданого вихору становить (рис. 2.9)

$$Q_c = 0,645 Q_0 \frac{1 + 2x}{d_0 \operatorname{tg} \alpha},$$

де: Q_c - кількість повітря, що минає з нагнітального патрубка в атмосферу, $\text{м}^3 / \text{с}$; то в тупиковій виробці рециркуляційна маса буде залежати від ступеня її обмеження, тобто місця розташування видачного патрубка щодо осі вироблення і площі її перерізу (рис. 2.10).

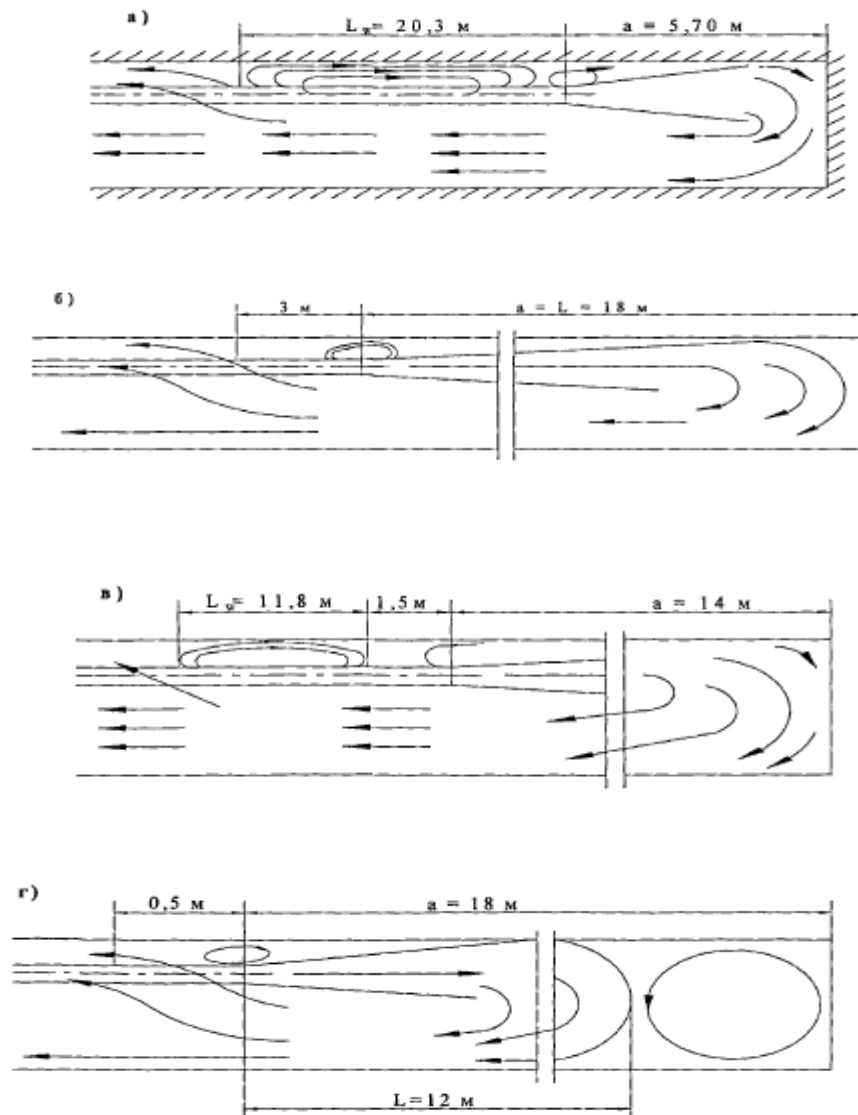


Рис.2.8 Схема повітряних потоків при нагнетаючої схемою провітрювання тупикової виробки

L - максимальна дальність струменя, м; L_w - зона вихороутворення, м; a - відстань до виданого патрубка від забою, м.

Складна структура вентиляційних струменів в привибійній зоні вироблення і обумовлює той факт, що коефіцієнт турбулентної дифузії « K » визначається не співвідношенням $\dot{L}/d_0$, а ступенем турбулізації (вихороутворення) в тупиковій зоні, що нагнітається, що підкреслювалося раніше роботами І.Ф. Ярембаша.

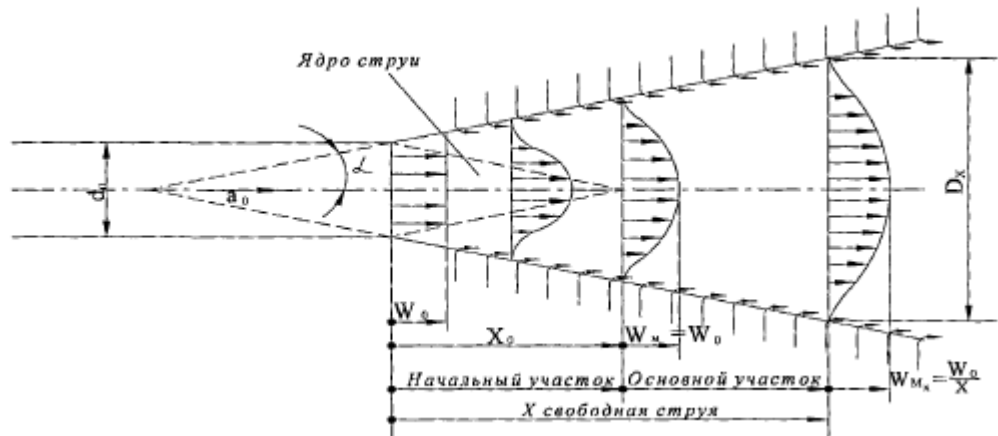


Рис.2.9 Структура круглой затопленной неограниченной струи

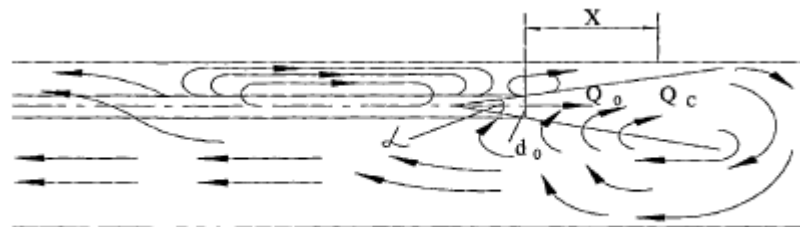


Рис. 2.10 Структура струменів в тупиковій виробці

Поширення напівобмеженого струменя, що впадає в глухий кут, зводиться до знаходження поля швидкостей в будь-якій точці вироблення.

Вироблення, в якій відбувається поширення струменя, являє собою деякий перетин, площею $8B$. Для аналітичного дослідження струменя, що впадає в глухий кут, уявімо вироблення як деякий циліндр з радіусом H , рівним гідравлічному наведеним діаметру вироблення. Струмінь поширюється уздовж верхньої стінки виробки:

$$U_m = K_\phi 0,816 U_0 / (2\alpha l_1 / d + 0,417). \quad (2.68)$$

Зміна осьової швидкості напівобмеженого обмеженої струменя може бути знайдено з рівняння:

$$U' = K_\phi 0,816 \cdot U_{mca} - \frac{2\alpha \cdot Q_0}{\pi \cdot H^2}. \quad (2.69)$$

Графік зміни осьової швидкості струменя наведено на рис. 2.11 для різних значень H , діаметра нагнітального трубопроводу і стислості відсмоктування повітря.

Форма огорожувальних поверхонь реальної вироблення відрізняється часто як від площини, так і від кута, тому і значення коефіцієнта " K_f " має бути іншим.

Найбільш часто зустрічається форма перерізу виробки - арочна. Визначимо, ґрунтуючись на законах взаємодії струменів, коефіцієнт K_f для арочних виробок довільних розмірів. Розглядаючи арочне перетин як проміжне між площиною і прямим кутом можна припустити, що

$$K_{пл} < K_{ар} < K_{уг}.$$

Аналіз виразів для швидкості на осі струменя і довільній точці перерізу виробки вказує на велику роль відсисається пристрою в формуванні швидкісних полів (2.69). З ростом кратності відсмоктування " a " спостерігається збільшення швидкостей, в прямому потоці і зменшення - в зворотному.

Вираз (2.69) дозволяє підійти до вирішення такого важливого питання як область поширення зворотних потоків в залежності від кратності відсмоктування повітря.

Більшістю дослідників вивчався глибокий тупик і вважалося, що вже при кратності $a > 1$, струмінь буде поширюватися в спутном потоці. Однак це не зовсім вірно, приєднані маси повітря, а в реальному тупику і основні маси, братимуть участь в циркуляційному русі.

Правильне визначення кількості повітря, що відсмоктується з приви́бійної частини виробки повинна виключати поширення зворотних потоків, забруднених шкодою, до робочих місць прохідників з одного боку і перешкоджати збільшенню концентрації метану за рахунок рециркуляції повітря - з іншого.

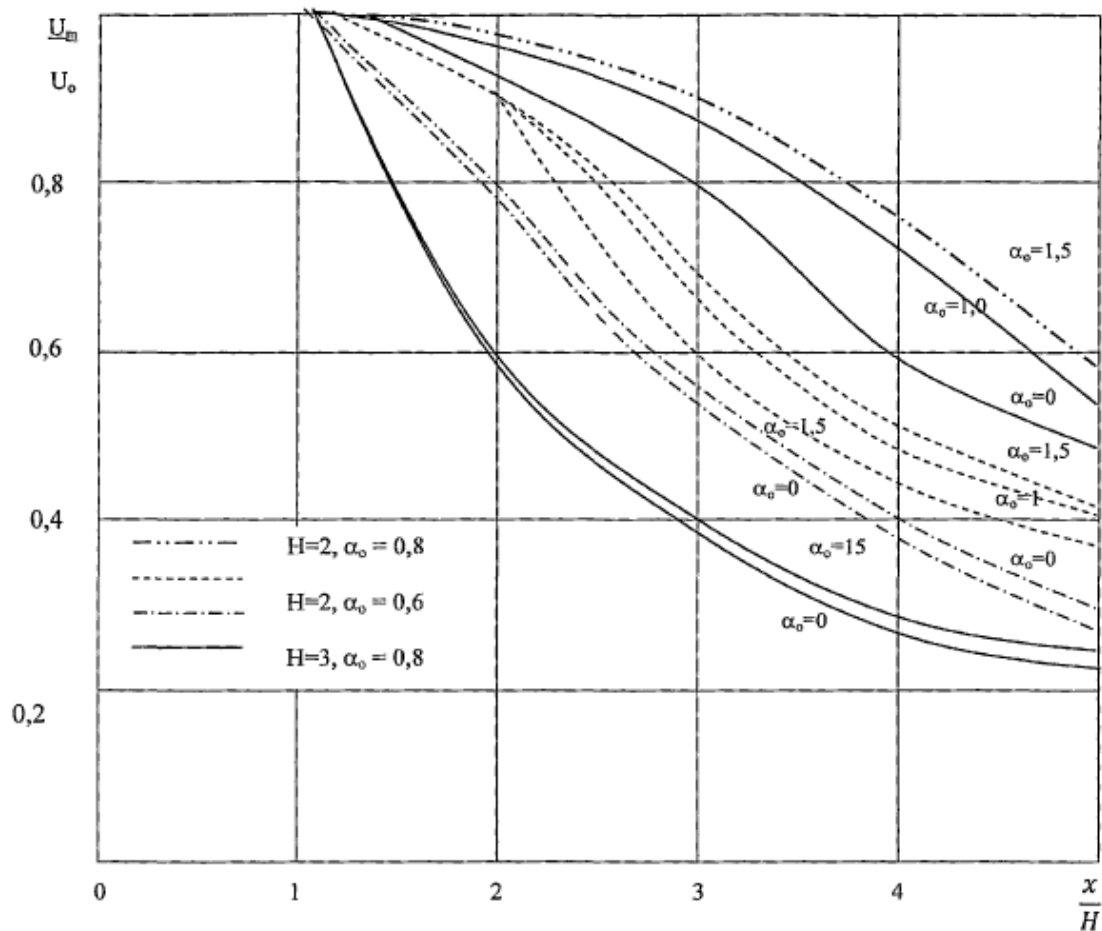


Рис. 2.11. Графік зміни осьової швидкості струменя по довжині тупика при різних кратності відсмоктування а.

З (2.69) випливає, що швидкість зворотних потоків залежить від параметрів вироблення "Н", діаметра нагнітального трубопроводу "с10" від відстані до полюса струменя "х" і кратності відсмоктування "а".

Для реальної тупикової виробки при видаленні кінця нагнітального трубопроводу на 6-8 м від грудей вибою, товщина струменя "угр" від "х" може бути з достатньою точністю апроксимирована виразом (2.70):

$$y \approx 0,17 x \quad (2.70)$$

Формула (2.70) практичних розрахунків параметрів обмежених напівобмеженого струменів.

Великий інтерес представляє процес поширення повітряного струменя, вдаряється в площину забою, з подальшим її розворотом і утворенням зворотних потоків. Цей процес не знайшов належного розгляду та розробки в науковій літературі, в той час як саме тут, на площині забою, де має місце інтенсивний процес пилоутворення, швидкість повітряного потоку має вирішальне значення.

На рис. 2.13 приведена принципова схема розтікання струменя на площині забою в результаті удару і повороту.

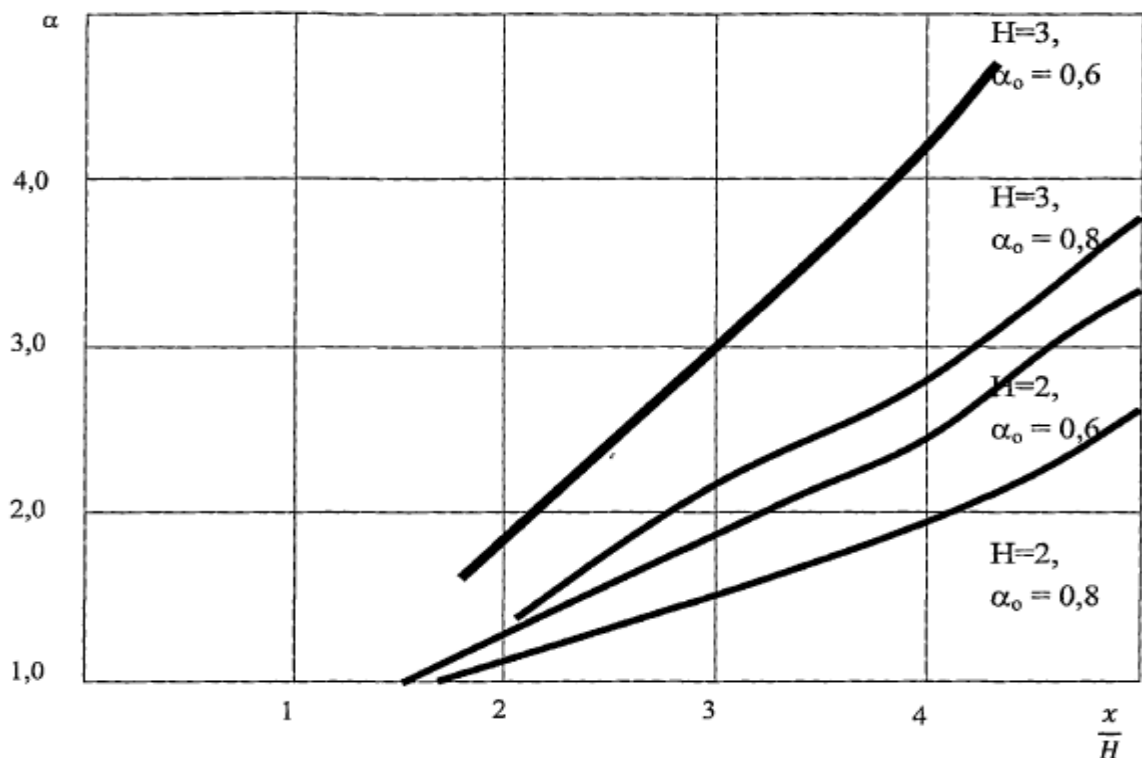


Рис. 2.12 Вплив кратності відсмоктування повітря на дальність поширення зворотних потоків.

Розвертаючись, струмінь настигається на поверхню передньої стінки і перетворюється з певним кутом примусового розширення " α_0 ". Товщина віялового струменя зростає з віддаленням від осі лобовій струменя, а швидкість - зменшується.

За межами зони дії лобових швидкостей, швидкість в точках, рівновіддалених від осі віялового струменя залишається постійною і не

залежить від видалення кінця нагнітального трубопроводу від грудей вибою.

Підставивши значення $\alpha = 0,0125$ в (2.71) отримаємо для напівобмеженого, обмеженої струменя у грудях забою:

$$\frac{U_m}{U_0} = \frac{0,215}{\sqrt{\chi \alpha^0}} \frac{d_0}{y}$$

Початкові параметри віялового струменя:

а) початковий радіус віялового струменя дорівнює товщині лобовій струменя у площині забою:

$$\frac{U_m}{U_0} \approx \frac{2,0}{\sqrt{\alpha^0}} \frac{d_0}{y}$$

де x - відстань від полюса струменя до площини забою.

Наростання товщини віялового струменя підпорядковується залежності

$$R = v_x = 0,17x$$

Нарастание толщины веерной струи подчиняется зависимости

$$v_y^* = v^* + c(y - 0,17x), \quad (2.73)$$

где $c \approx 0,16$.

Середня по перетину віялового струменя швидкість дорівнює приблизно 0,55 .

Для практичних розрахунків у виробленні абочного перетину з симетрично розташованим повітропроводом, значення швидкостей в будь-якій точці можуть бути обчислені за формулою:

$$U_m \approx \frac{2,0}{\sqrt{\alpha^0}} \frac{d_0}{(H-h)} U_0, \quad (2.74)$$

де H - висота виробки;

h - висота точки вимірювання.

Середнє значення швидкості:

$$U_{cp.} \approx 0,55 \frac{2,0}{\sqrt{\alpha^0}} \frac{d_0}{(H-h)} U_0$$

Розрахунки показують, що швидкості повітряних потоків по перетину, у грудях забою, мають значну нерівномірність і змінюються від 0,7 верхній частині вироблення до 0,2 - в нижній.

2.2. Шахтні дослідження параметрів повітряних потоків і пиловиділення в тупиковому комбайновому забої

Відповідно до поставлених цілей перед нами стояло завдання визначення характеру зміни інтенсивності пиловиділення при зміні продуктивності комбайна вибіркової дії і визначення впливу схеми розробки забою на запиленість.

Метою натуральних експериментів було визначення зміни запиленості повітря на робочому місці помічника машиніста комбайна та інтенсивності пиловиділення зі зміною продуктивності комбайна і схеми обробки забою.

Швидкість витікання повітря контролювалася анемометрами на виході з трубопроводу і визначався витрата повітря по формулі:

$$Q = U_0 S_{TP},$$

где $S_{TP} = 0,78d^2$.

Визначення запиленості повітря здійснювалося за допомогою аспіратор афера (фільтри. АФА-В-18) і пиломери ДПВ-1. Для фільтрів АФА-В-18 мінімальна навішування повинна становити не менше 5 мг [23]. Тоді мінімальний час виміру при відборі проб аспіраторами аера з передбачуваної запиленістю $C = 600$ мг / м буде визначатися:

$$t = 50 \frac{a}{C}$$

$$t_{\min} \approx 20c$$

при $C = 1500 \text{ мг/м}^3$; $t_{\min} = 8 \text{ с.}$

В реальних умовах час відбору проб становило 30 с і 15 с. За допомогою спарених Аллонж проб проводився одночасно в 4-х точках по

перерізу вироблення, ліворуч і праворуч від комбайна, двома приладами аера на висотах 0,8 м і 1,8 м.

Розрахункова запиленість визначалася як середнє арифметичне значення концентрації пилу заміряних в 4-х точках одночасно. Зважування фільтрів до і після відбору проб, вироблялося на аналітичних вагах АДВ - 200. Фільтри доставлялися в спеціальних патронах, щоб була виключена можливість їх забруднення при зміні.

Вимірювання запиленості дублювалося, при створенні ідентичних умов пилоутворення, пиломери ТМ Data, що мають пряму індикацію і досить малий час одного виміру (до 30 с). Розбіжність показань з ваговим методом становила трохи більше ± 10 - $\pm 20\%$.

Для отримання достовірних даних число спостережень визначалося за методом малої вибірки

$$N = t^2 \cdot \left(\frac{K_{\text{вар}}}{K_{\text{доп}}} \right)^2,$$

де t - нормоване відхилення (для шахтних умов $t = 1,65$);

$K_{\text{вар}}$ - допустима помилка, % ($K_{\text{доп}} = 15$ - 20%);

$K_{\text{доп}} \sim$ коефіцієнт варіації, %.

Для вагового методу, згідно з даними А.Х. Жамкочана

$K_{\text{вар}} = 10 + 20\%$.

З урахуванням прийнятих значень коефіцієнтів кількість проб, необхідних для отримання достовірних даних про концентрації пилу, дорівнює трьом в кожній точці. (В нашому випадку кожна зона характеризувалася 6-12 даними вимірів). Кількісна оцінка запиленості "С" визначалася за формулою:

$$C = \frac{(P'_{\phi 1} + P'_{\phi 2}) - (P_{\phi 1} + P_{\phi 2})}{Q_3 \cdot t},$$

де $P_{\phi 1}$ $P_{\phi 2}$ - вага фільтрів з відклався пилом, г; P P

P_{ϕ} $P_{\phi 2}$ - вага чистих фільтрів, г;

Q_e - кількість ежектированого повітря через фільтри, м/с; t - час відбору проб, - с.

Інтенсивність пиловиділення перебувала з виразу (при фіксованих значеннях до " Q_0 ")

$$I = C \cdot Q_0,$$

де I - інтенсивність пиловиділення, мг/с;

C - середня концентрація пилу в повітрі, мг/м;

Q_0 - секундний витрата повітря, м / с.

$$t_{\text{зап}} = \frac{x_u \cdot S_e}{Q_0}, \text{ с} \quad (2.78)$$

З метою уточнення зміни концентрації пилу, по довжині виробки за цикл роботи комбайна, проводилися виміри запиленості повітря в перетинах, віддалених від грудей вибою на відстані 5, 10, 20, 50 м. Вимірювання проводилися з урахуванням часу запізнювання

$$t_{\text{зап}} = \frac{x_u \cdot S_e}{Q_0}, \text{ с}$$

Св-переріз виробки

x_i - відстань до контрольного перетину, м.

Вплив схеми обробки на запиленість в забої.

Нами були обрані з великої різноманітності схем обробки найбільш типові:

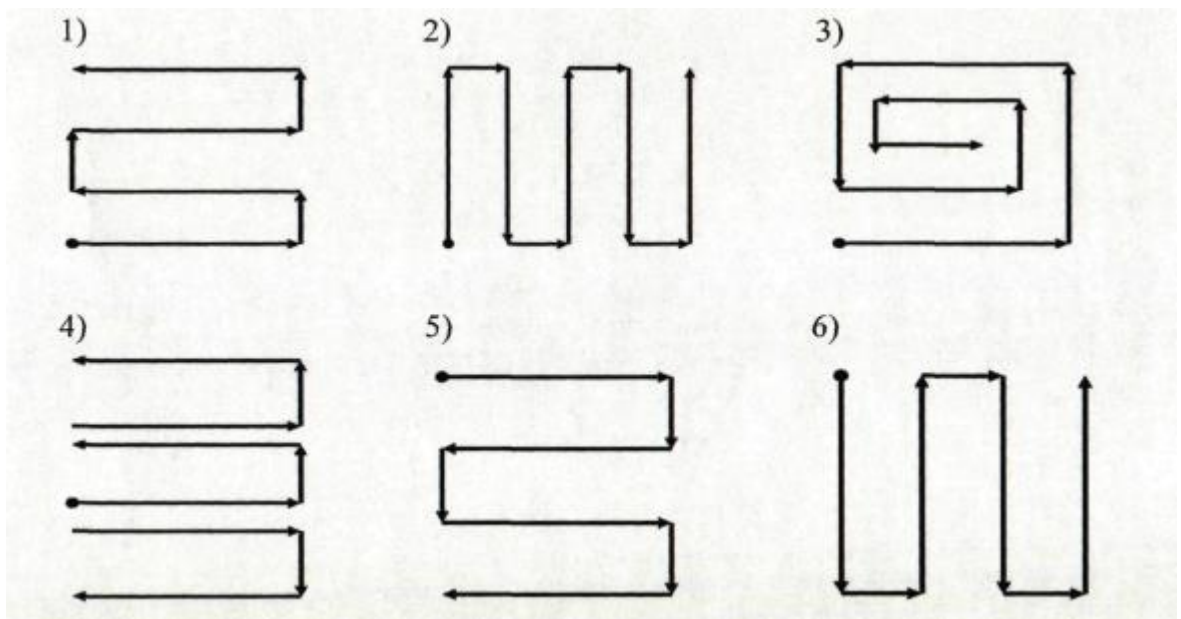


Рис. 2.17. Схеми послідовності обробки площині забіл

Аеродинамічні параметри обраних типових схем відрізняються по взаємодії з лобовими і настільними потоками повітря.

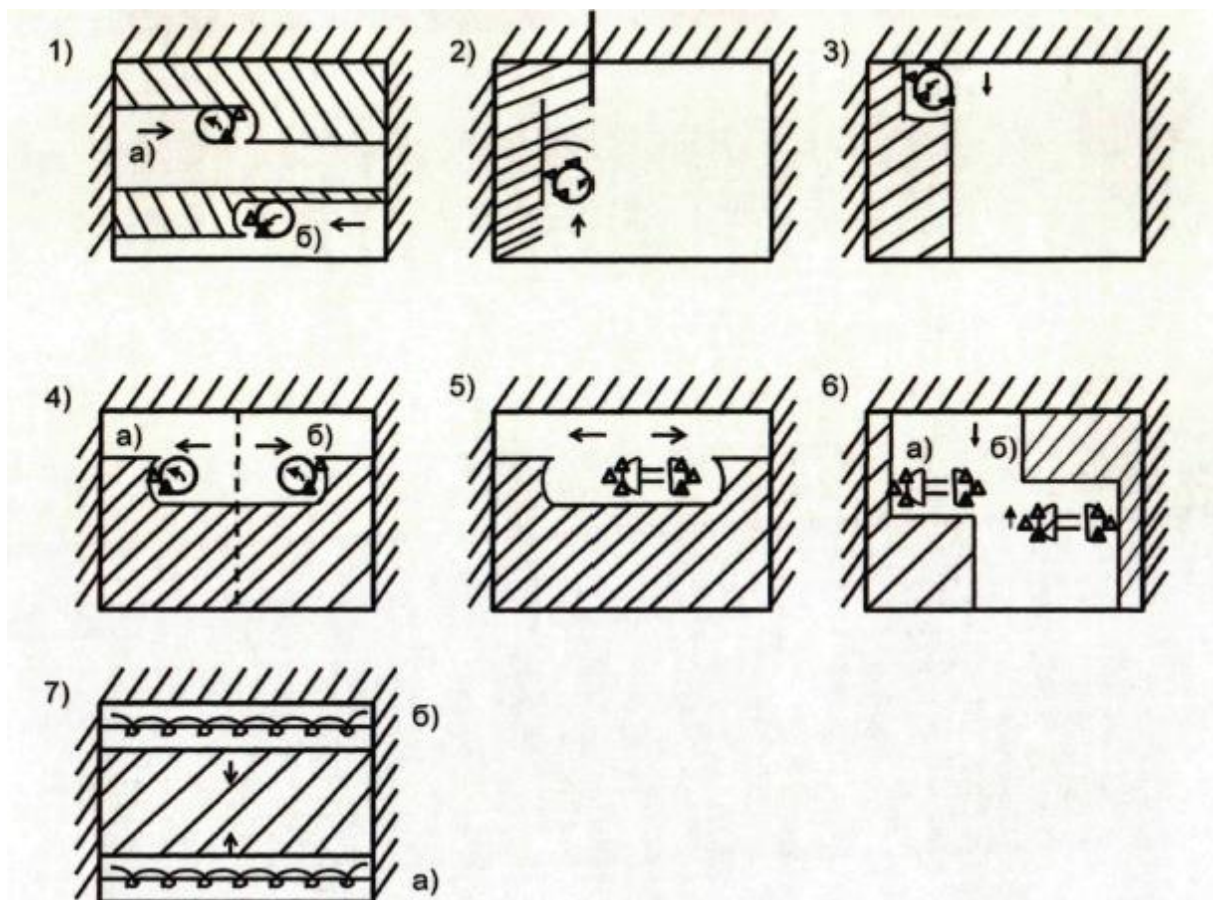


Рис. 2.18. Схеми різних режимів фрезерування

З урахуванням аеродинаміки взаємодії подає відбитої гірничої маси з повітряними потоками у площині забою, нами досліджені 7 схем (рис. 2.18), що впливають на запиленість в забої при інших рівних умовах (відставання трубопроводу $L = \text{const}$, витрата повітря $Q_H = \text{const}$, продуктивність комбайна $A = \text{const}$, режим роботи комбайнів не змінився під час дослідів).

Висновки

1. Концентрація пилу в привибійній зоні вироблення змінюється від 250 мг/м при обробці нижній частині забою, до 7000 мг/м при обробці верхній частині забою. Рівень запиленості на робочих місцях прохідників, при роботі комбайнів виборчої дії, характеризується значною нерівномірністю.

2. Розгляд процесу пилоутворення і поширення пилової хмари по забою дозволило виділити і визначити основні фактори, що впливають на запиленість: висота падіння відбитої гірничої маси, швидкість повітря у джерел пилевидалення, продуктивність комбайна і схема обробки площині-забою:

3. На підставі, експериментальних даних отримані вирази для визначення інтенсивності пиловиділення в залежності від продуктивності комбайна і схем обробки площині забою.

4. Показано необхідність диференційованого підходу до вибору параметрів провітрювання і зрошення протягом обробки одного заходу, при роботі комбайнів із стрілоподібним робочим органом, в залежності від місця розташування руйнує коронки.

5. Запропоновано аналітичний розв'язок задачі поздовжньої турбулентної дифузії при змінному джерелі пиловиділення, яке дозволяє прогнозувати пилову обстановку в будь-якій точці по довжині забою в часі.

3. МЕТОДИКА ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЗНЕПИЛЕННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ ВИДОБУВНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Розрахунок раціональних параметрів витрати повітря для коректності вибору раціональних параметрів витрати повітря вся площину забою розбивається умовно на дві області

1. Зона лобових швидкостей, де середня розрахункова швидкість у джерела пилоутворення визначається за формулою:

$$U_p = K_f 0,55 U_0 / (2al/d + 0,417), \quad (3.3)$$

де * K_f - коефіцієнт форми вироблення, що впливає на зміну осрової і середньої швидкостей обмеженої полуограніченної струї;

U_0 - швидкість повітря на виході з вихідного отвору * вентиляційного трубопроводу, м/с; •

d - діаметр вентиляційного трубопроводу, м;

$a = 0,06 \div 0,08$ - коефіцієнт структури круглої струменя;

l - видалення кінця трубопроводу від площини забою, м.

2. Зона дії настільних швидкостей. Розрахункова швидкість повітря:

$$U_{p.ср.} \approx 0,6 \frac{d_0}{H-h} \cdot U_0$$

$$U_0 = 1,3 \frac{Q_0}{d_0^2},$$

Так як то

$$U_{p.ср.} = 0,78 \frac{Q_0}{d_0(H-h)} \quad (3.5)$$

Зона дії лобових швидкостей визначається кордоном дії прямого струменя:

$$y_1 = 0,17x \text{ (м)}.$$

Зона дії настільних швидкостей:

$$y_2 = H - y_1 \text{ (м)},$$

де H - висота виробки, м;

х - відстань трубопроводу від площини забою, м.

Завдання раціонального провітрювання в розведенні утворюються домішок до мінімально можливих концентрацій. Висловимо інтенсивність пиловиділення через кількість що подається в забій повітря.

Знаючи інтенсивність пилоутворення і кількість подаваного в забій повітря можна визначити концентрацію пилу в зоні змішання

$$C=I/Q \quad (3.7)$$

а) для зони лобових швидкостей:

$$C_a = \frac{I_0}{Q_0} (1 + 0,22h + 0,67U_p^2) = \frac{a_1 q_{max} AK_1 K_2}{Q_0} \left[1 + 0,22h + 0,67 \left(\frac{K_\phi \cdot 0,449U_0}{\frac{2al}{d_0} + 0,417} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

б) для зони настільних швидкостей:

$$C_H = \frac{I_0}{Q_0} \left[1 + 0,22h + 0,39 \frac{Q_0^2}{d_0^2 (H-h)^2} \right] \quad (3.9)$$

Рівняння (3.8) і (3.9) являють собою деяку параболу, значить можна припустити, що існує також оптимальну кількість подається в забій повітря, коли запиленість у виробленні матиме мінімальне значення.

Отримані співвідношення вказують на * збільшення запиленості "С" з ростом "h", а також підкреслюють двоїстий характер впливу витрати повітря З одного боку йде розбавлення домішок, з іншого - видування пилу з руйнується і падає відбитої маси.

Формули (3.8) та (3.9) дозволяють характеризувати пилову обстановку в забої зі зміною місця руйнування вугільного масиву, кількості подаваного в забій повітря, а також служити основою для розрахунку знепилюючих заходів у виробці.

Зокрема, з'являються можливості вибирати оптимальні за пиловим чинником режими провітрювання тупикових вибоїв, а також кількість

зрошуваною рідини для забезпечення необхідної залишкової запиленості, яка залежить від початкової концентрації пилу в повітрі.

Для визначення мінімально можливого значення запиленості повітря в забої при фіксованому значенні до і постійних коефіцієнтах K_1 і K_2 візьмемо похідну по H функції C .

$$Q_{опт\pi} = 2,11 \frac{2ald_0 + 0,417d_0^2}{K_\phi} \sqrt{1 + 0,22h}$$

$$Q_{оптн} = 1,6d_0(H - h)\sqrt{1 + 0,22h}$$

Алгоритм розрахунку витрати повітря при відомих параметрах воздухопроводу і вироблення:

1. вихідні дані: $d_0, q_{нз}, Q_{опт}, S_\phi, x,$, схема обробки вибою;
2. визначається наведений параметр вироблення "Н";
3. задаються кроком зміни $\Delta h = d_{кор}^{-1}$ Кор коронки (при плавній зміні)

або $\Delta h = \frac{H}{n}$ - (де n - число ступенів регулювання витрати повітря). n

4. при заданій продуктивності і пилоутворювальну здібності визначають I_0 :

$$I_0 = a_1 q_{нз} \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2 ;$$

5. визначається зона дії лобових швидкостей струменя:

$$T = H - 0,17x ;$$

6. розраховуються оптимальні витрати в зоні дії настільних швидкостей:

$$Q_{опт} = 1,6 \cdot d_0 (H - h) \cdot \sqrt{1 + 0,22h} ;$$

7. визначається витрата повітря при $h = T$:

$$Q_{опт} = 1,6 \cdot d_0 (0,17x) \cdot \sqrt{1 + 0,22h} ;$$

8. обчислюється коефіцієнт збільшення швидкості при поширенні струменя уздовж обмежує поверхні (площину, арочне):

$$K_{пл} = \sqrt{1 + e^{-4 \cdot 74 \cdot \left(\frac{d_0}{2x}\right)^2}}$$

$$K_{ар} = 1 + e^{-2 \cdot 74 \cdot \left(\frac{0.4 R_B + 0.5 d_0}{x}\right)^2};$$

9. визначається витрата повітря при обробці верхньої частини забою:

$$Q_{опт.л.} = 2,11 \frac{2ald_0 + 0,417d_0^2}{K_\phi} \sqrt{1 + 0,22h}.$$

У кожному разі розрахунку перевіряється безпеку по газовому фактору, тобто $Q_{опт.} \geq Q_{газ}$,

а також потребу $0,55Q_{н.опт} < Q_{п. опт} < 0,8Q_{н.опт}$, виключає загазування привибійної частини виробки при рециркуляції повітря, що викликається дією пиловідсмоктувальної установки.

Зокрема, з'являються можливості вибрати оптимальні за пиловим чинником режими провітрювання тупикових вибоїв.

Блок-схема алгоритму розрахунку оптимальної кількості повітря, що подається в забій, наведена на рис. 3.1.

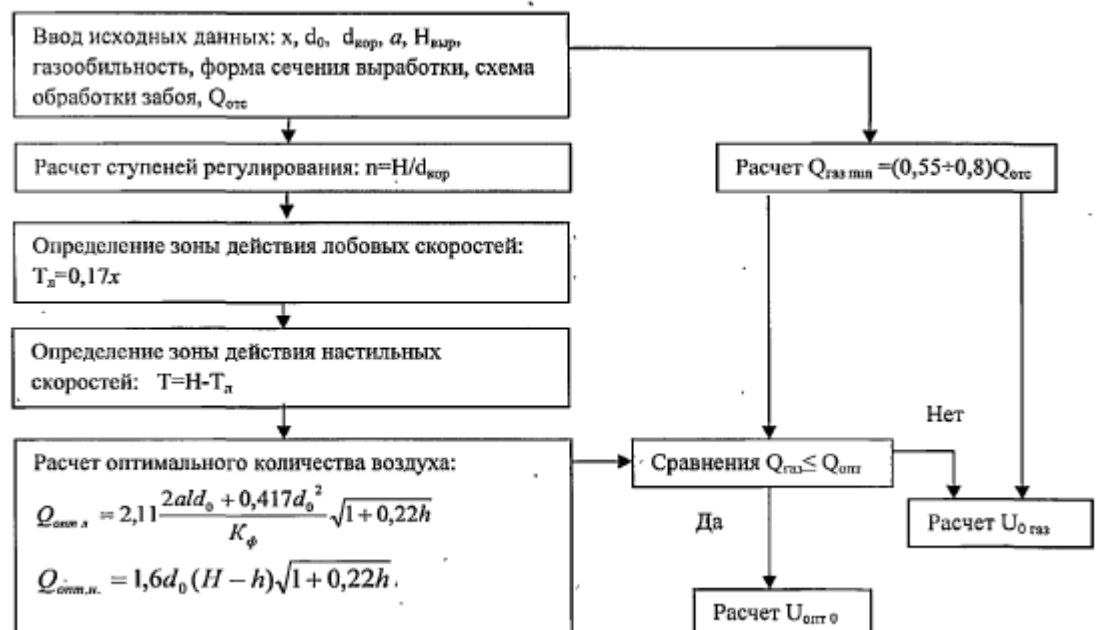


Рис. 3: 1 Блок-схема алгоритму розрахунку оптимальної кількості повітря, що подається в забій

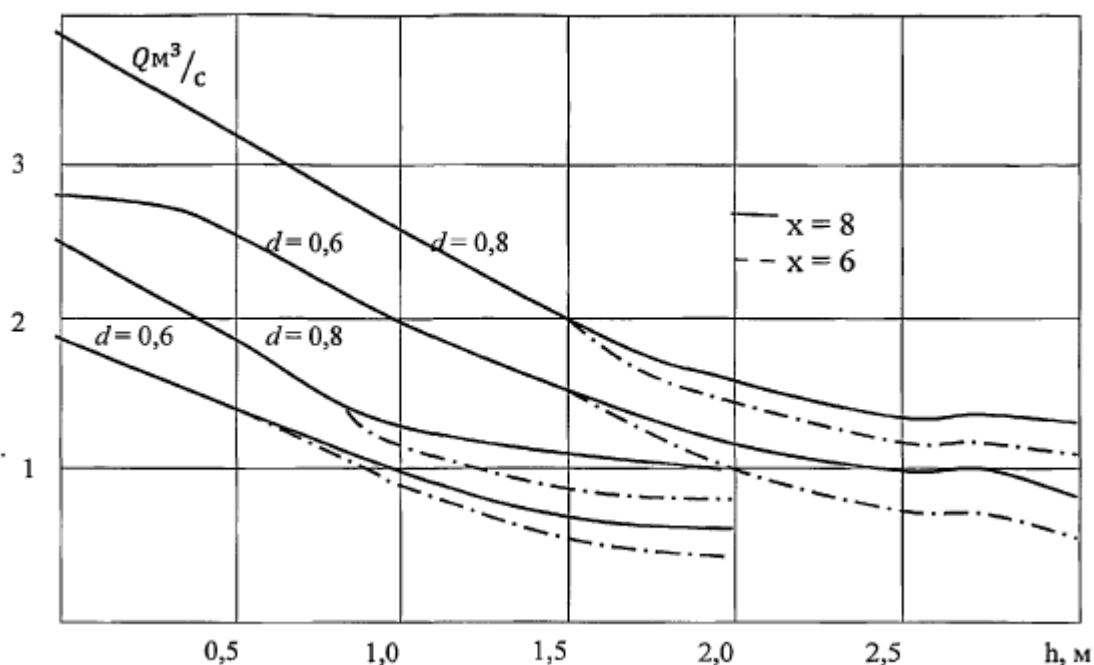


Рис. 3.2 Оптимальні витрати повітря при провітрюванні тупикової виробки

3.2. Обґрунтування, розрахунок раціональних параметрів гідрознеплення при роботі комбайнів вибіркової дії

Механізм уловлювання, пилу рідиною включає три взаємопов'язані стадії: захоплення, частки краплею, коагуляція - їх і осадження отриманих агрегатів. У цих умовах коагуляція є основними фізико-хімічними механізмом взаємодії пилового і рідинного аерозолів. Необхідною умовою коагуляції при гідроорошенні є захоплення твердої частинки краплею рідини. Стадія захоплення обумовлена двома механізмами пиловловлювання: інерційним і безінерційним. Інерційний захоплення обумовлений тільки інерцією частинок в околиці краплі. У пилегазожідкостному потоці на частку діють сили гравітації і інерції,

турбулентні пульсації газу, а на дрібнодисперсній фракції (розмір частинок менше 5-10 $\mu\text{м}$) - дифузійні сили. У разі наближення частки на відстань 3-4 радіусів від краплі починають діяти електростатичні сили.

Ефективність уловлювання витає пилу краплями води обумовлена протіканням різних по своєю природою фізико-хімічних явищ.

Умовно їх можна розділити на три основні групи. До першої групи можна-віднести процеси взаємодії (захоплення) аерозольних часток, обумовлені Аерогідродинамічний, кінетичними факторами і що відбуваються в зоні факела зрошення. До другої групи відноситься дальною дією електростатичне взаємодія, обумовлене явищем природної електризації при диспергуванні твердої речовини і зрошувальної рідини. У міру зближення аерозольних часток проявляється, роль третьої групи процесів, коли дальною дією взаємодія переходить в близькодією (адгезійне) між молекулами пилової речовини і зрошувальної рідини.

У динамічно активній області на ділянці інерційного пробігу відбувається (до 0,05 с) релаксаційні гальмування крапель в повітряному середовищі з передачею кінетичної енергії цьому середовищі, що визначає рівень реалізації ежектируючого ефекту факела.

$$\tau = \frac{U}{W}, \text{с} \quad (3.12)$$

Особливе значення для визначення динаміки і кінематики частинок аерозолів набуває встановлення залежності між опором середовища і часом релаксації т частинок і крапель, тобто відношенням швидкості і до прискорення руху щодо цього середовища:

$$\tau = \frac{U}{W}, \text{с}$$

Залишкова відносна концентрація пилу в очищеному повітрі:

$$\Xi = \frac{c_{nl}}{c_n} \leq \frac{c_{пдж}}{c_n},$$

де $C_{пв}$, $C_{пл}$, $C_{гдк}$ - початкова, залишкова і гранично допустима концентрації пилу, відповідно, мг/м³.

На етапі складання математичного опису процесу представляється найбільш доцільним отримати залежність, що визначає величину залишкової відносної концентрації E , частинок пилу одного розміру dt , що ідентифікується як відносний парціальний пиленасос.

Розглянемо процес уловлювання пилу в факелі вільної форсунки.

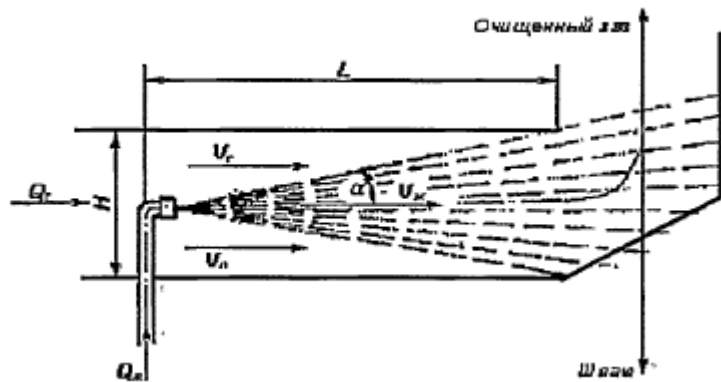


Рис. 3.3. Розрахункова схема пиловловлювання

L і H - довжина і висота робочого простору відповідно, м; $Q_{ж}$ і $Q_{г}$ - швидкості крапель, газу та частинок пилу відповідно, м/с; $O_{ж}$ і $O_{г}$ - витрата рідини і газу відповідно, м³/с; α - кут розкриття факела, град.

Будемо вважати, що уловлювання пилу в пристрої відбувається в результаті дії наступних механізмів:

1. осадження пилинок на краплях в активній зоні факела розпилення;
2. осадження пилинок на краплях рідини під дією сили тяжіння;
3. дифузійне осадження пилинок на поверхні крапель рідини.

Знайдемо вирази для відносних парціальних концентрацій частинок пилу в газовому потоці після впливу на них вище перелічених механізмів

уловлювання. Для цього в факелі виділимо елементарний об'єм довжиною, з площею поперечного перерізу як зазначено на рис. 3.4.

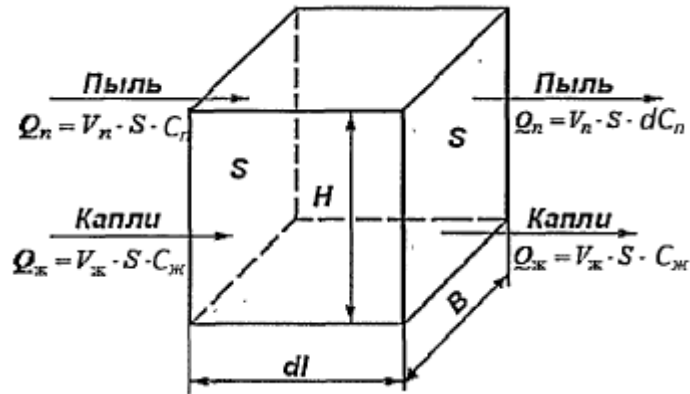


Рис. 3.4. Розрахункова схема - матеріального балансу в елементарному обсязі пристрої

C_n - концентрація пилу на вході елементарного обсягу кг/м³;

V_n - швидкість частинок пилу, C_n - приріст концентрації пилу в елементарному обсязі, кг/м³; C_m - об'ємний вміст рідини в одиниці об'єму газу; $V_{ж}$ - швидкість краплі, м/с; i (3π - витрата рідини (м³/с) і пилу (кг/с) відповідно.

Рівняння матеріального балансу для елементарного об'єму можна записати в наступному вигляді:

$$C_n V_n S - V_n S (C_n - dC_n) = -C_n \eta_m \left(V_{ж} - V_n \cos \frac{\alpha}{2} \right) C_{ж} \frac{3Sdl}{2\delta_{ж}}, \quad (3.14)$$

де $C_n V_n S - V_n S (C_n - dC_n)$ - кількість пилу в газовому потоці за одиницю часу на вході і виході елементарного об'єму, кг/с,

$-C_n \eta_m \left(V_{ж} - V_n \cos \frac{\alpha}{2} \right) C_{ж} \frac{3Sdl}{2\delta_{ж}}$ - витрата частинок пилу на поверхню крапель рідини в елементарному обсязі за одиницю часу, коефіцієнт захоплення частинок пилу.

Звідки отримаємо диференціальне рівняння зниження початкової концентрації частинок пилу C_n на довжині l :

$$\frac{dC_n}{C_n} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{C_{ж} \cdot \eta_m \left(V_{ж} - V_r \cos \frac{\alpha}{2} \right)}{\delta_{ж} \cdot V_r} \cdot dl.$$

З виразу випливає, що відносна концентрація пилових частинок після перебування запиленого потоку в активній зоні факела розпорошеної рідини складе

$$\Theta_{\phi} = \frac{C_{n1}}{C_n} = e^{\frac{-3 C_{ж} \cdot \eta_m \left(V_{ж} - V_r \cos \frac{\alpha}{2} \right) l_{ж}}{2 \delta_{ж} \cdot V_r}} \quad (3.15)$$

де $l_{ж}$ - довжина пробігу краплі рідини в нерухомому середовищі, м;
Відносна концентрація частинок пилу після впливу на них крапель рідини, що падають в даному елементарному обсязі під дією сили тяжіння дорівнює:

$$\Theta_{\kappa} = e^{\frac{-3 \cdot C_{ж} \cdot \eta_{ж} \cdot V_{ск} \cdot H}{2 \cdot \delta_{ж} \cdot V_r}} \quad (3.16)$$

$V_{ск}$ - швидкість зіткнення пилових частинок з краплями рідини під дією сили тяжіння, м / с,

$$V_{ск} = \tau_{ж} g - \tau_m g, \text{ м/с};$$

H - висота каналу пристрою, м,

g - прискорення вільного падіння ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$),

$\tau_{ж}$ - час релаксації частинок пилу в в'язкому середовищі, з,

$$\tau_m = \frac{\delta_m^2 (\rho_m - \rho_r)}{18 \mu_r}, \text{ с.}$$

Відносна концентрація частинок пилу після дифузійного осадження на поверхню крапель рідини визначається аналогічно (3.2) і дорівнює:

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = e^{-\frac{3C_k \eta_{\text{ож}} (\bar{V}_k - \bar{V}_n) l_k}{2\delta_k \bar{V}_k}}, \quad (3.17)$$

де $\eta_{\text{ож}}$ - коефіцієнт ефективності дифузійного осадження частинок на кулі [62]

$$\eta_{\text{ож}} = 2\sqrt{2\text{Pe} \cdot \delta}$$

Pe - критерій Пеклі для дифузійних процесів

$$\text{Pe} = \frac{\bar{V} \cdot \delta}{D}$$

$\bar{V}_k$ і $\bar{V}_n$ - швидкість дифузії краплі і частки відповідно

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{3 \cdot D}{\tau}}, \text{ м/с;}$$

D - коефіцієнт дифузії

$$D = \frac{k \cdot T \cdot C_k \cdot \tau}{3\pi \cdot \mu_r \cdot m}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

K - постійна Больцмана, Дж/град [99];

T - абсолютна температура газового середовища;

Ск - поправка Кенігема [99];

m - маса краплі або частинок, кг.

Аналіз формул по ефективності осадження пилу в факелі вільно встановленої форсунки показує на правомірність використання формули визначення Єф.

Струмені крапель повітря прагнуть відірвати осів частку пилу з поверхні краплі і повернути її назад в потік, якщо частка не занурилася в краплю на достатню для повної фіксації глибину. Тому доцільно розглянути вплив аеродинамічних сил, що обтікає потоку газу на результат контактної взаємодії частинок пилу з поверхнею краплі (рис. 3.5).

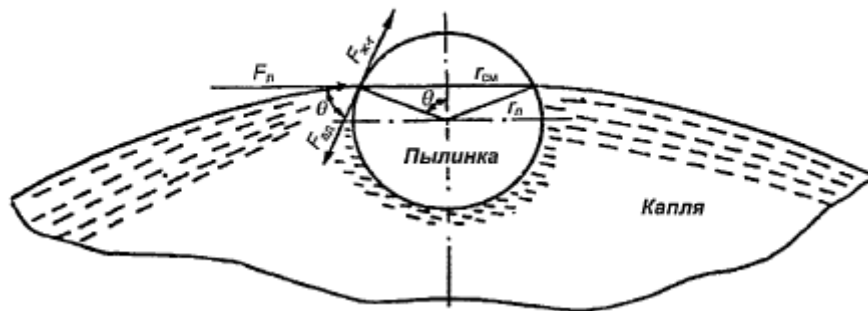


Рис. 3.5. Взаємодія адгезійних і аеродинамічних сил при контакті пилинки з краплею.

В цьому випадку необхідно дотримуватися умова:

$$W_n \geq W_{л}, \text{ Дж}, \quad (3.18)$$

де $W_{л}$ - енергія відриву частинок повітряним потоком - сила лобового опору при русі частинки в потоці газу

$$W_n = F_n \cdot \frac{\delta_n}{2}, \text{ Дж},$$

F_n – сила лобового опору під час руху частинки у потоці газу

$$F_n = C_x \rho_r \frac{(V_{ж} - V_r)^2}{2} S_m, \text{ Н} \quad (3.19)$$

є C_x - безрозмірний коефіцієнт опору частинок, що залежить від ступеня турбулентності потоку $C_x = f(Re);$;

S_m - миделеві перетин частки, м².

Коефіцієнт C_x розраховують за формулою

$$C_x = \frac{24}{Re_{n0}} (1 + 0,15 Re_{n0}^{0,687}) \quad (3.20)$$

де Re_{n0} - число Рейнольдса частинки пилу.

Величина миделевого перетину S_m , на яке впливає лобова сила, визначається як різниця таких перетинів між загальним перетином і його змоченою частиною, яке знаходиться по формулі

$$S_m = \frac{\pi \cdot \delta_n^2}{8} (1 - \cos \theta), \text{ м}^2 \quad (3.21)$$

$$W_n = \frac{24}{\text{Re}_{n0}} (1 + 0,05 \text{Re}_{n0}^{0,687}) \cdot \frac{\rho_r (V_{ж} - V_r)^2}{2} \frac{\pi \cdot \delta_n^3}{16} (1 - \cos \theta) \cdot H, \quad (3.22)$$

З урахуванням виразів (3.20) і (3.21) енергія лобовій сили діє на частинку складе:

$$W_n = \frac{24}{\text{Re}_{n0}} (1 + 0,05 \text{Re}_{n0}^{0,687}) \cdot \frac{\rho_r (V_{ж} - V_r)^2}{2} \frac{\pi \cdot \delta_n^3}{16} (1 - \cos \theta) \cdot H,$$

Енергія адгезії пропорційна площі адгезії

$$W_n = \frac{1}{2} \sigma_{жг} (1 - \cos \theta) S_{ад}, \text{ Дж},$$

де $S_{ад}$ – площа адгезії, м^2 .

$$S_{ад} = 2\pi \cdot \delta_n^2 (1 + \cos \theta), \text{ м}^2$$

тоді:

$$W_n = \frac{1}{2} \pi \cdot \delta_n^2 \sigma_{жг} (1 + \cos \theta)^2, \text{ Дж}.$$

Використовуючи залежності (3.19), (3.22) і (3.23), при вирішенні нерівності (3.18) можна знайти граничний максимальний діаметр порошинки, утримуваної на поверхні краплі при конкретних умовах зрошення:

$$\delta_{пакр} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{жг} \cdot (1 - \cos \theta) \cdot \text{Re}_{n0}}{3 \cdot (1 + 0,15 \cdot \text{Re}_{n0}^{0,687}) \cdot \rho_r \cdot (V_{ж} - V_r)^2}, \text{ м}$$

Відповідно поверхнево-адгезійне критичне число Стокса для випадку незворотною фіксації налиплого частинок краплями в обтічні газовому потоці з урахуванням виразу (3.24) складе:

$$\text{Stk}_{акр} \leq 2,47 \cdot 10^{-2} \left[\frac{\sigma_{жг} \cdot (1 - \cos \theta) \cdot \text{Re}_{n0}}{(1 + 0,15 \cdot \text{Re}_{n0}^{0,687}) \cdot \rho_r} \right]^2 \cdot \frac{\rho_n - \rho_r}{\delta_{ж} \cdot \mu_r \cdot (V_{ж} - V_r)^3}.$$

Для гідрофобних частинок вираз набуває вигляду:

$$Stk_{\text{кр}} \leq 9,88 \cdot 10^{-2} \left[\frac{\sigma_{\text{ж.г}} \cdot Re_{\text{п0}}}{(1 + 0,15 \cdot Re_{\text{п0}}^{0,687}) \cdot \rho_r} \right]^2 \cdot \frac{\rho_{\text{п}} - \rho_r}{\delta_{\text{ж}} \cdot \mu_r \cdot (V_{\text{ж}} - V_r)^3}$$

Розрахунки проведені за формулою (3.26) показали, що енергія адгезії налипають критичних частинок пилу превалює над енергією впливу на них повітряного потоку оточуючого краплю у всьому практичному діапазоні режимів гідрознеплення, що забезпечує необоротну фіксацію частинок краплями в таких умовах.

Граничні параметри зіткнення частинок зі сферою при критичних числах $Stk_{\text{кр}}$

Таблиця 3.1

Параметр	Значение	Размерность
Время релаксации	$\tau_{\text{мкр}} = Stk_{\text{мкр}} \frac{\delta_{\text{ж}}}{(V_{\text{ж}} - V_r)}$	с
Диаметр частицы	$\delta_{\text{мкр}} = 3 \cdot \delta_{\text{ж}} \left(\frac{2 \cdot Stk_{\text{мкр}}}{Re_{\text{ж}} \cdot \tilde{A}} \right)^{\frac{1}{2}}$	м
Скорость столкновения	$(V_{\text{ж}} - V_r) = Stk_{\text{мкр}} \cdot \frac{\delta_{\text{ж}}}{\tau_{\text{мкр}}}$	м/с

Витрати енергії при прилипанні і поглинання пилинок, Дж / м².

Таблиця 3.2

Вид адгезии	Краевой угол смачивания пыли		
	$\theta = 180^\circ$	$0 \leq \theta \leq 180^\circ$	$\theta = 0^\circ$
Налипание	$\sigma_{\text{ж.г}}$	$\frac{1}{2} \sigma_{\text{ж.г}} (1 - \cos \theta)$	0
Поглощение	$2\sigma_{\text{ж.г}}$	$\sigma_{\text{ж.г}} (1 - \cos \theta)$	0

Критичні параметри налипання пилових частинок на краплю рідини параметр.

Таблиця 3.3

Параметр	Выражение
Критерий Стокса	$Stk_{кр} = \frac{\tau_m \sqrt{\frac{6 \cdot \sigma_{жг} \cdot (1 - \cos \theta)}{(\rho_n - \rho_r) \cdot \delta_{кр}}}}{\delta_{ж}} ;$
Скорость столкновения	$(V_{ж} \pm V_r)_{кр} = \sqrt{\frac{6 \cdot \sigma_{жг} \cdot (1 - \cos \theta)}{(\rho_n - \rho_r) \cdot \delta_{кр}}} , \text{ м/с}$
Диаметр частицы	$\delta_{кр} = \frac{6 \cdot \sigma_{жг} \cdot (1 - \cos \theta)}{(\rho_n - \rho_r) \cdot (V_{ж} \pm V_r)^2} , \text{ м};$
Время релаксации частицы	$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot \sigma_{жг}^2 \cdot (1 - \cos \theta)^2}{\mu_r \cdot (V_{ж} \pm V_r)^4 (\rho_n - \rho_r)} , \text{ с.}$

Повну ефективність очищення газу можна обчислити, виходячи з концентрації пилу до C_0 і після пиловловлювача C :

$$E_{\Sigma} = (1 - C/C_0) = 1 - \mathcal{E}_{\Sigma}. \quad (3.27)$$

Наближено повну ступінь очищення можна обчислити як суму добутоків парціальних ступенів очищення $E_i = 1 - \mathcal{E}_i$, на відповідні частки маси частинок ΔR_i ; кожного розміру:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} E_i \cdot \Delta R_i. \quad (3.28)$$

При зменшеній ΔR_i - до елементарних часток dR точна величина загальної ступеня очищення виражається наступним інтегралом:

$$E_{\Sigma}(\delta) = \int_0^{\infty} E_i(\delta_m) dR(\delta_m). \quad (3.29)$$

У тому випадку, якщо функція $E_i(\delta_m)$ и $R(\delta_m)$ мають однаковий вигляд, то обчислення загальної ступеня очищення значно спрощується.

Для аналітичного опису кривих розподілу пилових частинок найбільш обґрунтованим і широко застосовуваним в даний час є

логарифмічно нормальний розподіл (ЛНР), яке відрізняється від нормального розподілу тим, що в якості аргументу підставлений замість діаметра частинок його логарифм

$$A(\delta_m) = \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (3.30)$$

де $\Phi(x)$ - інтеграл ймовірності;

x - нормована величина розподілу

$$x = \frac{\lg \delta_m - \lg \delta_{m50}}{\lg \sigma_m}$$

δ_m - розмір пилових частинок, м;

δ_{m50} - медіанний розмір частки відповідної в розподілі 50% змістом частинок, м;

$\lg \sigma_m$ - стандартне відхилення величини $\lg \sigma_m$ розподілу

$$\lg \sigma_m = \lg \delta_{m84,1} - \lg \delta_{m50} = \lg \delta_{m50} - \lg \delta_{m15,9};$$

$\delta_{m84,1}$ и $\delta_{m15,9}$ розмір частки, при якій маса всіх частинок аналізованої пилу менше 8т становить 84,1% і 15,9% відповідно, м.

Функція розподілу $R(\delta_m)$ з формули (3.29) визначиться з різниці $R(\delta_m) = 1 - D(\delta_m)$.

Дисперсний склад багатьох промислового пилу підпорядковується логарифмічно нормальному закону розподілу (ЛНР): Дослідження показали, що функції парціальних ступенів очищення в сухих і мокрих інерційних пиловловлювача також підкоряються ЛНР. Виходячи з цього положення, Алландер довів, що загальна ступінь очищення в цьому випадку може бути виражена такою залежністю:

$$E_{\Sigma}(\delta) = \Phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy, \quad (3.31)$$

де: y - нормована величина розподілу:

$$y = \frac{\lg \delta_{m50} - \lg \delta_{\eta 50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_m - \lg^2 \sigma_{\eta}}};$$

$\delta_{\eta 50}$ - медіанний розмір уловлених частинок, парціальна ефективність очищення від яких становить 50%, м;

$\lg \sigma_{\eta}$ - стандартне відхилення логарифмів парціальних коефіцієнтів очистки

$\lg \sigma_{\eta} = \lg \delta_{\eta 84,1} - \lg \delta_{\eta 50} = \lg \delta_{\eta 50} - \lg \delta_{\eta 15,9}$, - розмір часток, парціальна ефективність уловлювання яких становить 84,1% і 15,9% відповідно, м.

Профіль швидкостей ежектіруемого повітря у вільному факелі форсунки ЗФ-3,3-75 при тиску води 1,2 МПа на різних відстанях (x) від форсунки, згідно з експериментальними даними Феськова М.І., представлені на рис. 3.6.

Встановлено, що:

- в центрі факела форсунки ежектірованне повітря рухається з максимальною швидкістю, на периферії - з мінімальною;
- швидкість повітря на кордоні факела, уздовж бічної поверхні, дорівнює нулю;
- в різних перетинах факела поля швидкостей ежектірованного повітря подібні.

Відстань від осі факела, мм

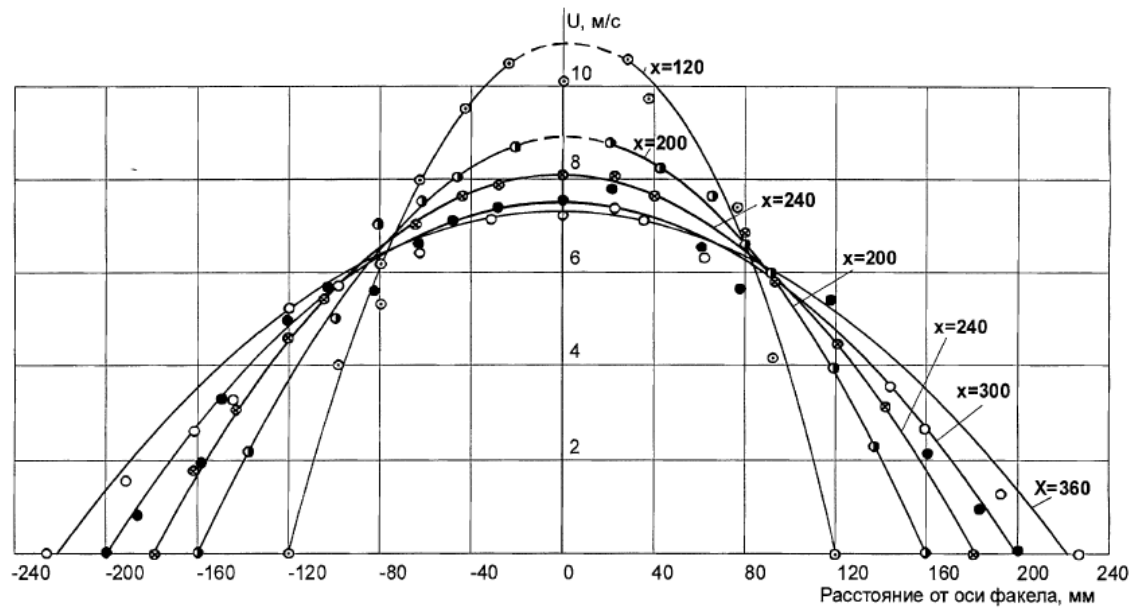


Рис. 3.6. Профілі швидкості ежектированного повітря в факелі диспергує води відцентрової форсунки ЗФ-3,3-75 ($p = 12\text{--}105\text{ Па}$)

Профілі швидкостей ежектированного повітря однакові в перетинах, віддалених на рівних відстанях від форсунки в факелах, що б'ють в глухий кут, розташованих у відкритій трубі і б'ють в перешкоду.

Профілі швидкостей ежектированного повітря в факелі мають типовий струменевий характер. Розширення струменя ежектированного повітря визначається кутом розчину факела.

З метою забезпечення знепилювання вентиляційних струменів в повному обсязі в роботі вирішувалося завдання розрахунку ежектируючої здатності вільно встановлених зрошувачів. Для цього, згідно, використовуючи закон збереження імпульсів, робочий процес зрошувача (рис. 3.7) представили у вигляді:

$$NqV_c = V_a(Nq + m), \quad (3.32)$$

де: q - масовий секундний витрата зрошувальної рідини, кг/с;

V_c - швидкість сприском крапель форсункою, м/с;

V_a - середня по перерізу швидкість аерозолі в перерізі 2, м/с;

m - масова витрата ежектируемого повітря в перерізі 2, кг/с;

N- число зрошувачів, шт.

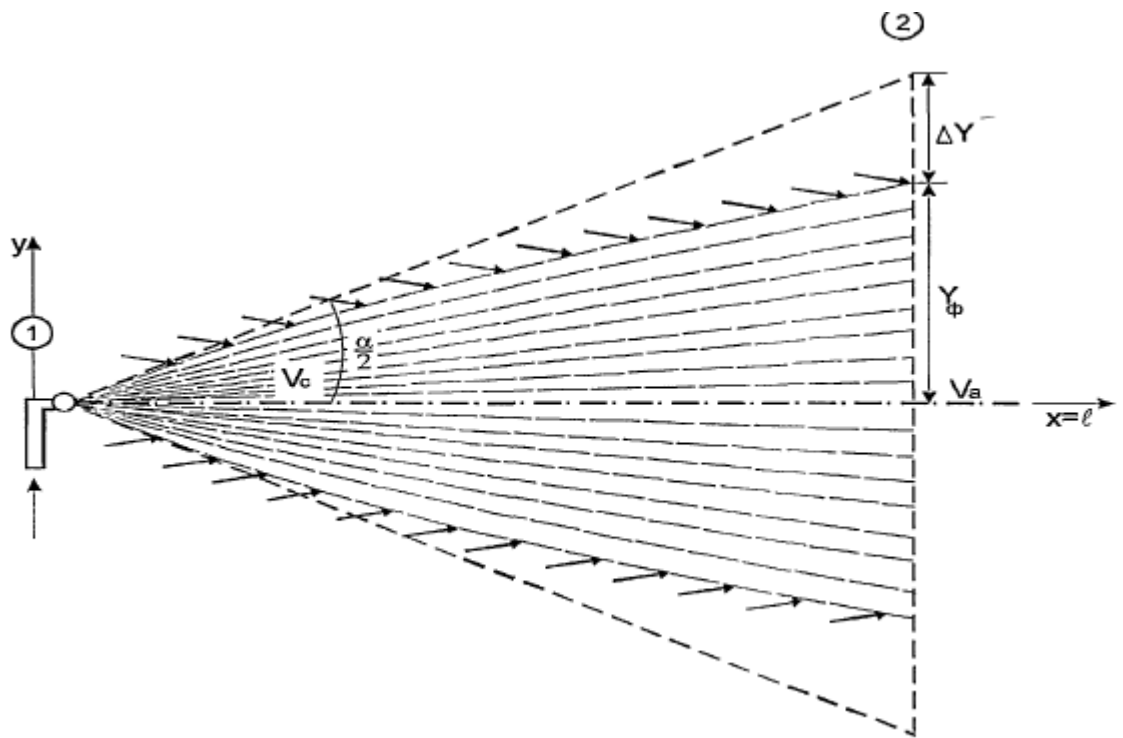


Рис. 3.7. Схема робочого процесу вільно розташованої форсунки:

V_c - швидкість сприском крапель форсунки; V_a - середня швидкість аерозолі в перерізі 2;

ΔY^- - величина підгорнутим факела форсунки;

Y_{ϕ}^- - радіус факела зрошення.

Швидкості ежктіруемого повітря і крапель в перерізі 2 вважаємо однаковими, тому що ми розглядаємо відстань $x = l$ в кілька десятків сантиметрів, на якому відбувається їх вирівнювання, що повністю узгоджується з висновками академ. Г.Н.Абрамовича. З рівняння (3.32)

$$m = Nq(V_c - V_a) / V_a, \quad (3.33)$$

Значення об'ємної витрати рідини визначається виразом:

$$q_v = (a/60) \sqrt{10P}, \quad \text{л/с,}$$

де P - робочий тиск на зрошувачі, МПа;

a - паспортний коефіцієнт витрати форсунки, $a = 1,0; 1,6; 2,2; 3,3; 5,0; 7,0$.

Швидкість spriskom крапель U_c визначається співвідношенням:

$$V_c = 10^{-3} q_v / S_c = 4q10^{-3} / (3,14d_c^2 10^{-6}) = 1274q / d_c^2, \text{ м/с}, \quad (3.35)$$

де q_v - об'ємна витрата води, л / с, чисельно для води

d_c - діаметр сопла форсунки, мм.

Складність отримання ежектируючої здатності форсунки $Q = m / \rho$ полягає у визначенні V_a , де ρ - щільність повітря.

Акад. Г.Н.Абрамовіч для розрахунку двофазних струменів отримав співвідношення:

$$V_{oc} / V_c = (0,96d_c / 2a_c l) \sqrt{(1 + \chi) 2a_c l / (2a_c l + 0,56\chi d_c)}, \quad (3.36)$$

де V_{oc} - осьова швидкість аерозолі в довільному перерізі, м/с;

d_c - діаметр сопла форсунки, м;

a_c - коефіцієнт структури вільного струменя, $a_c = 0,08$;

l - відстань від сопла, м;

χ - частка змісту в spriskують агента рідини, $\chi = m_g / m_l$, (3.37)

де m_g - масовий секундний витрата газу через форсунку, кг/с. У нашому випадку $m_g = 0, \chi \rightarrow \infty$. За допомогою граничного переходу для випадку вільного spriskування рідини в повітря проф. С.Ю.Ерохін отримав співвідношення:

$$V_a / V_c = 0,9 \sqrt{d_c / (a_c l)}. \quad (3.38)$$

Однак в разі обприскування рідини через відцентрові форсунки формулою (3.38) користуватися не можна, тому що spriskують струм (факел) не є вільною, а являє собою штучно турболізований потік, коефіцієнт структури якого далеко відмінний від величини $a_c = 0,08$,

характерної для вільного (струминного) витікання рідини в газ. У міру збільшення кута розкриття факела відцентрової форсунки, у міру збільшення турбулізації факела, коефіцієнт структури останнього також зростає.

За визначенням, коефіцієнт структури вільних газових струменів обчислюють за координатами променя, відповідного половинній швидкості, тобто

$$a_c = Y/X, \quad (3.39)$$

де Y - ордината точки струменя, на якій поточна швидкість V дорівнює V_c , тобто $X/V_c = 0,5$, (3.40)

де X - абсциса цієї точки або довжина факела на осі в даній точці. За аналогією з цим визначенням для форсунок типу КФ домовилися визначати коефіцієнт структури факела зрошення в ньому перетині a_f по відношенню величини радіусу факела, що обчислюється за його кордонів, до відстояння цього перетину від сопла, тобто

$$a_f = Y_f/X \quad (3.41)$$

При розпилюванні рідини через циліндричне сопло корневий кут видимої кордону факела за даними Г.Н.Абрамовіча, становить ~ 14 градусів, тобто рідина при обприскуванні в повітря без закрутки у вигляді аерозолі має приблизно такі ж межі, що й вільна газовий струмінь, але у визначенні (3.41).

Смолоскипи відцентрових форсунок з кутом $\alpha > 15^\circ$ при збільшенні відстані від сопла помітно деформуються (підтискаються), хоча, як показав аналіз фотографій факелів зрошення конусних форсунок з корневим кутом 40 градусів і 75 градусів, на початковій ділянці вони мають кути розкриття 40 градусів і 75 градусів відповідно.

Відстань, на якому факели починають деформуватися або підтискатися, зменшується з підвищенням тиску. При чому найбільша

ефективність уловлювання пилу спостерігається в зоні сопла форсунки, що обумовлено значним перевищенням середньої швидкості крапель над швидкістю втягуються разом з повітрям пилинок. Однак ефективність роботи форсунок по очищенню повітря на цій відстані невелика, тому що тут повністю не використовується ежектрующее: здатність факела і очищається невеликий, обсяг повітря.

Стиснення факела, за визначенням (3.41), природно; впливає на поточний коефіцієнт його структури a_{ϕ} ; . З метою отримання значення a_{ϕ} і його усередненого

по довжині значення a_{ϕ} ; введемо поняття величини підтискання факела A_{ϕ} (рис. 3.7).

Необхідність вивчення підтискання факелів відцентрових форсунок обумовлена тим фактором, що тільки знання усередненого коефіцієнта структури факелів a_{ϕ} дає можливість по частково видозміненій формулою (3.38) розраховувати швидкість аерозолі в довільно розташовується на відстані від сопла форсунки перетині за формулою:

$$\frac{V_a}{V} = 0,9 \sqrt{\frac{d_c}{a_{\phi} l}},$$

$$\Lambda = 0,9$$

У (3.42) де a_{ϕ} - усереднений по довжині факела коефіцієнт його турбулентної структури.

В результаті математичної обробки дослідних даних по вивченню геометрії напірних факелів диспергує рідини, отриманих проф. С.Ю.Ерохіним, запропоновані наступні співвідношення для розрахунку a_{ϕ}

" a_{ϕ} 0,2

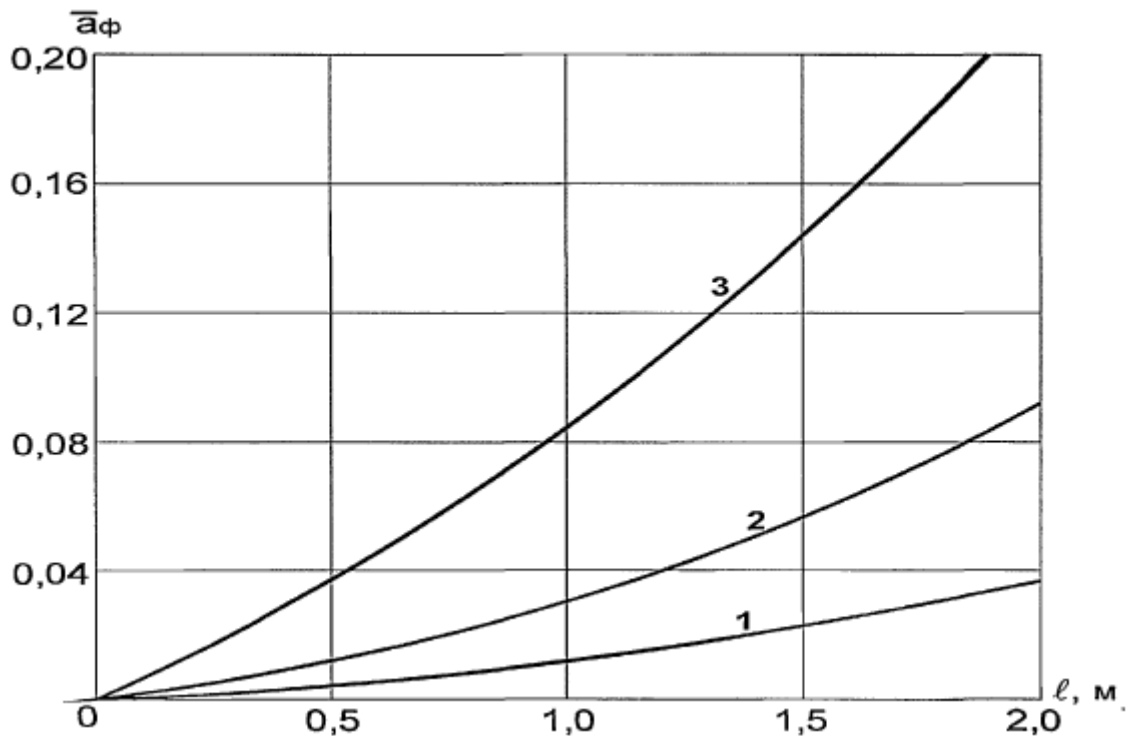


Рис. 3.8. Зміна усередненого коефіцієнта структури факела a_ϕ від відстані l і кореневого кута розкриття факела α :

1 – КФ-2,2-15; 2 – КФ-3,3-40; 3 – КФ-5-75

. Було встановлено, що усереднений коефіцієнт турбулентної структури факела залежить від кореневого кута сприском альфа, довжини факела l і тиску P .

За визначенням чисельне значення коефіцієнта структури у сопло-с одно / 2. На відстані $l = 2$ м значення a_ϕ одно з точністю $\pm 5\%$ половині a_s , тобто $a_\phi = 0,5a_s$. Встановлено, що зниження a_ϕ пропорційно збільшення тиску P і відстані l і, будучи мірою турбулентності, характеризує швидкість її загасання.

З огляду на сказане, для визначення a_ϕ запропоновано використовувати вираз виду:

$$\bar{a}_\phi = a_{\phi.c} k_p k_l, \quad (3.43)$$

де: $\overline{a_{\phi c}}$ – коефіцієнт турбулентної структури факела зрошення на відстані l від сопла;

k_p, k_l – коефіцієнти зниження a_{ϕ} при збільшенні тиску P і відстані l в порівнянні з граничним тиском P_g , l_g відповідно.

Граничне значення тиску P_g , при якому витікання (розбризкування) води з форсунки переходить в сопло у вигляді факела, $P \sim 0,5$ МПа. Гранична довжина факела l_g , очевидно, дорівнює 0.

З урахуванням сказаного, припускаючи, що вплив тиску P і відстані l на a_{ϕ} однаково, вираз (3.43) можна переписати у вигляді:

$$\overline{a_{\phi}} = (\operatorname{tg} \alpha / 2) \{1 - [(k_p + k_l) / 2]\}, \quad (3.44)$$

де α – кут сопла.

Для визначення k_p і k_l до, скористалися досвідченими даними С.Ю.Ерохіна, за якими встановили, що зазначені коефіцієнти можна представити у вигляді:

$$k_p = 1 - f(P), \quad k_l = 1 - f(l), \quad (3.45)$$

де $f(P), f(l)$ – коефіцієнти зниження значення k_p, k_l до, при збільшенні P і l .

З огляду на, що при $P = 0,0$ МПа $k_p = 1$; $P = 0,5$ МПа $k_p = 0,25$ і $P = 1,0$ МПа $k_p = 0,5$. У загальному вигляді k_p визначиться виразом:

$$k_p = 1 - 0,5P, \quad (3.46)$$

де P – робочий тиск в МПа, $P < 1,0$ МПа.

Аналогічно для k_l , враховуючи, що при $l = 0$ м $k_l = 1$; при $l = 1$ м, $k_l = 0,25$; при $l = 2$ м, $k_l = 0,5$, отримаємо вираз:

$$k_l = 1 - 0,5l,$$

де l - довжина факела в метрах, $l < 2$ м.

Таким чином, вираз (3.43) можна переписати у вигляді:

$$\begin{aligned}\overline{a_\phi} &= (tg\alpha/2)\{1 - [(1 - 0,05P) + (1 - 0,25l)/2]\} = \\ &= (tg\alpha/2)\{1 - [(2 - 0,05P - 0,25l)/2]\} = 0,5(tg\alpha/2)(0,05P + 0,25l).\end{aligned}$$

Використовуючи значення змінює усередненого коефіцієнта структури струменя i для кожного i -го перетину, відстає від сопла на відстані L , можна

отримати шукані значення середніх по перерізу швидкостей аерозолі (крапель) V_a в цьому перерізі. Підставивши в (3.42) для спрощення замість V_c і q їх визначальні співвідношення, отримаємо:

$$\begin{aligned}V_a &= 0,8V_{o.c} = \left[(0,8 \cdot 0,9q) / (785d_c^2 \cdot 10^{-6}) \right] \sqrt{d_c 10^3 / (a_\phi l)} = \\ &= \left[(0,8 \cdot 0,9a) / (60 \cdot 785 \cdot 10^{-6}) \right] \sqrt{10^{-5} \cdot 10^3 P / (d_c^3 a_\phi l)} \approx \\ &= 1,5a \sqrt{P / (d_c^3 a_\phi l)},\end{aligned}$$

де: a - коефіцієнт витрати форсунки; d_c - площа сопла форсунки, мм;
 P - тиск води на працюючому зрошувачі, МПа; l - довжина факела, м.

З урахуванням (3.48) і (3.49) можна переписати у вигляді:

$$\begin{aligned}V_a &= 1,5a \sqrt{P / [ld_c^3 \cdot 0,5(tg\alpha/2)(0,05P + 0,25l)]} = \\ &= 2,1a \sqrt{P / [ld_c^3 (tg\alpha/2)(0,05P + 0,25l)]}, \text{ м/с}\end{aligned}$$

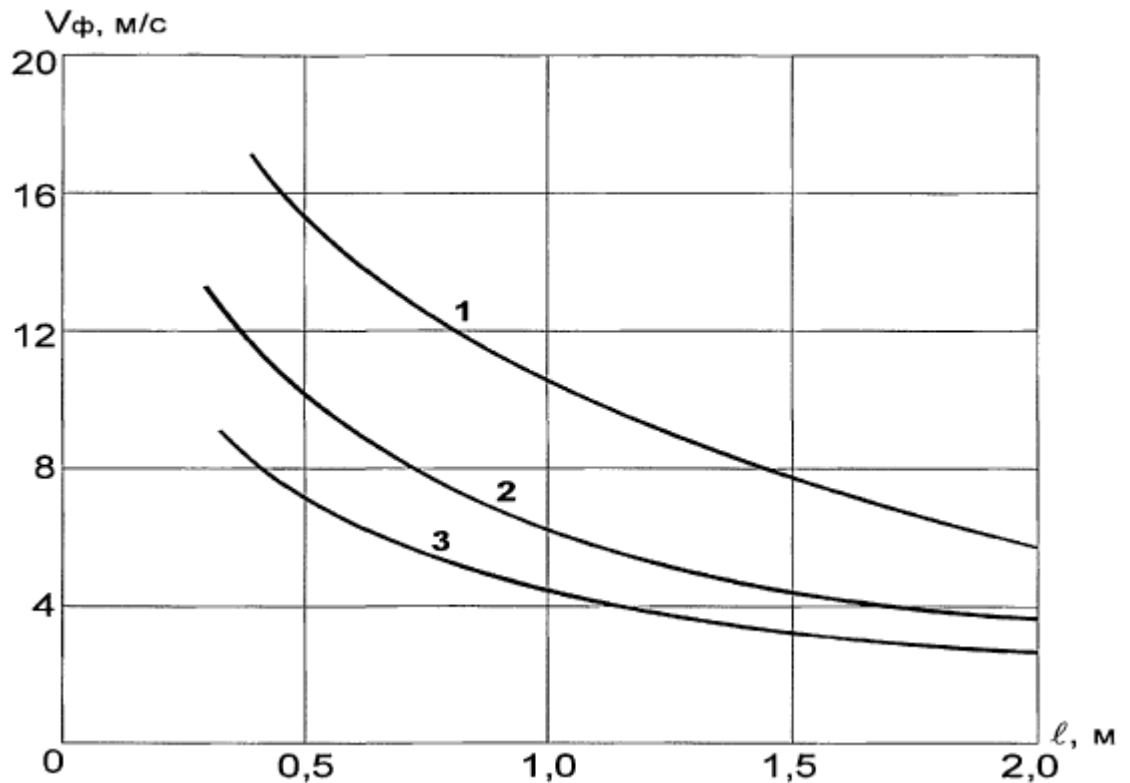


Рис. 3.9. Зміна середньої швидкості аерозолі в факелі конусної форсунки

V_a в залежності від відстані від сприском:

1 - КФ-2,2-15; 2 -КФ-3,3-40; 3-КФ-5-75

З урахуванням (3.50) вираз при $\rho = 1,24 \text{ кг / м}^3$ перепишемо у вигляді:

$$Q_3'' = m/\rho = (Na\sqrt{10P/60\rho})(V_c/V_a - 1) = Na\sqrt{10P/60} \cdot \\ \cdot (127a\sqrt{10P}\sqrt{1d_c^3(\text{tg}\alpha/2)(0,05P + 0,251)} / (60d_c^2 \cdot 2,1a\sqrt{P} - 1) = \\ = 0,0425aN\sqrt{P}[32\sqrt{1(\text{tg}\alpha/2)(0,05P + 0,251)/d_c} - 1], \text{ м/с},$$

або:

$$Q_3 = 60Q_3'' = Na\sqrt{P} \cdot \\ \cdot [82\sqrt{1(\text{tg}\alpha/2)(0,05P + 0,251)/d_c} - 2,55], \text{ м}^3/\text{хв}$$

де: a - коефіцієнт витрати форсунки;

P - тиск води на працюючому зрошувачі, МПа;

α - кут конусної форсунки при сприску, градуси;

l - відстань від сопла форсунки до вимірювального перетину, м;

d_c - діаметр сопла форсунки, мм.

На рис. 3.10-3.12 представлені зазначені залежності:

Ос, м³/хв.

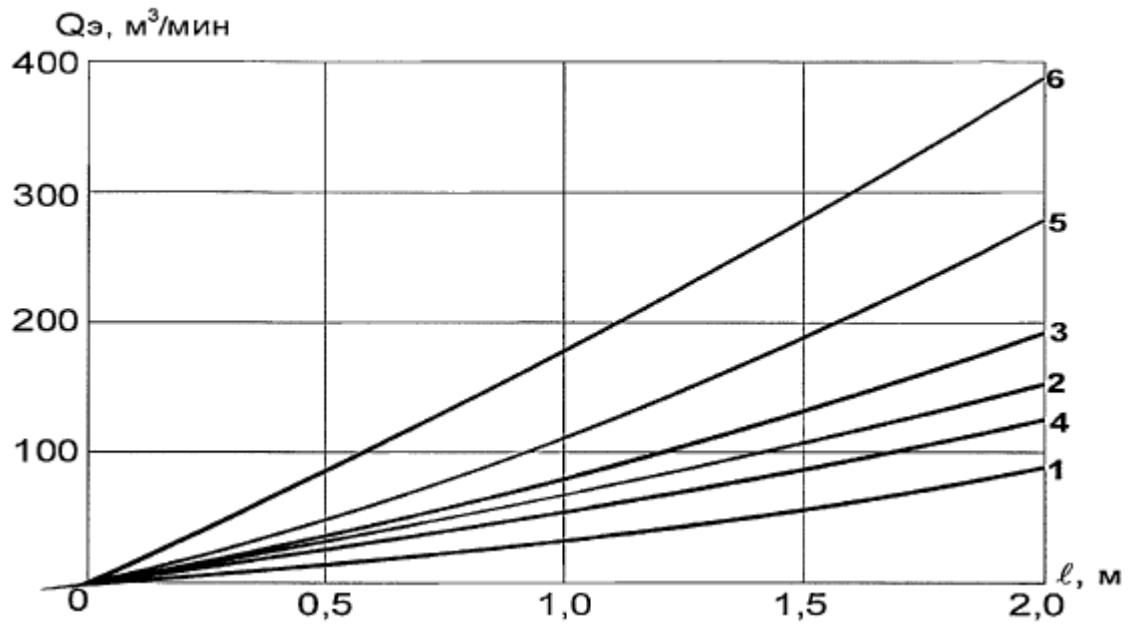


Рис. 3.10. Зміна ежектрующеї здатності форсунки Q в залежності від відстані І до площини забою:

1 - КФ-2,2-15; 2 - КФ-3,3-40; 3 - КФ-5-75 - для однієї форсунки;
4 - КФ-2,2-15; 5 - КФ-3,3-40; 6 - КФ-5-75 - для двох форсунок

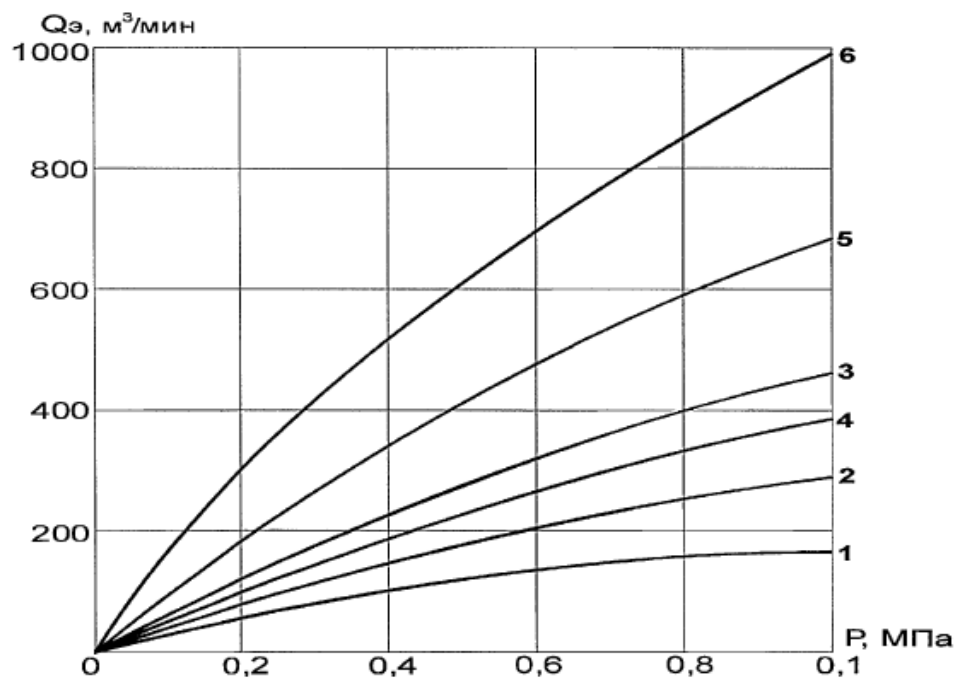


Рис. 3.11. Зміна ежектрующеї здатності форсунки від тиску Р:
1-КФ-2,2-15; 2 - КФ-3,3-40; 3 - КФ-5-75 - для однієї форсунки;

4 - КФ-2,2-15; 5 - КФ-3,3-40; 6 - КФ-5-75 - для двох форсунок

Рис. 3.11 - $Q_3 = f(P, \alpha)$ при $l = \text{const}$;

Рис. 3.12 - $K_e = f(l, \alpha)$ при $P = \text{const}$;

Рис. 3.13 - $K_e = f(P, \alpha)$ при $l = \text{const}$; про

де: Q_e - ежектіруюче здатність форсунки, м / хв;

P - тиск на працюючому зрошувачі, МПа;

α - кут розкриття факела;

l - відстань до площини зрошення (довжина факела), м;

K_e - коефіцієнт ежекції, K_e

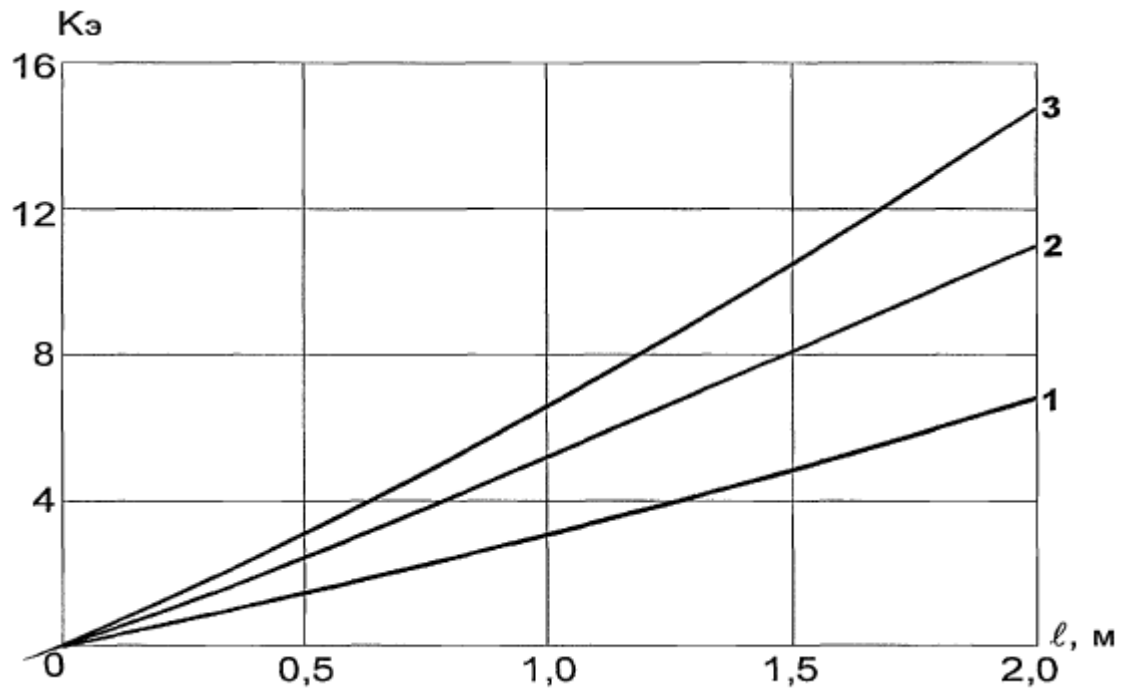


Рис. 3.12. Зміна коефіцієнта ежекції K_e від відстані l :

1 – КФ-2,2-15; 2 – КФ-3,3-40; 3 – КФ-5-75

$$K_e = m/q,$$

де: m - масовий секундний витрата ежектіруемого повітря, кг / с;

q - витрата води через зрошувач, л / с.

Розроблений метод розрахунку розглядає факел розпорошеної води як турбулентну двухфазну струміль, що поширюється в пиловій хмарі.

$$Q_3 = a\sqrt{P} \left(82N \sqrt{\lg(\alpha/2)} l (0,05P + 0,25l) / d_c - 2,55 \right),$$

де a - коефіцієнт витрати форсунки; P - тиск води на працюючому зрошувачі, МПа; N - кількість форсунок; I - довжина факела, мм; d_c - площа сопла форсунки, мм.

Диспергованість водоповітряного потоку ежектує навколишнє повітря, який рухається в спутном потоці навколишнього аерозолі. Швидкість виходу крапель рідинного аерозолі ($V = 15-20$ м / с) значно перевершує швидкість вентиляційного потоку в виробленні ($V = 2,4-2,6$ м / с). В обсязі, займаному факелом диспергує води, відбувається змочування частинок і їх часткова коагуляція. В області факела диспергує води підведення пилинок до крапель здійснюється, в основному, за рахунок турбулентної дифузії. Відповідно до викладеного механізму вловлювання пилу, ефективність осадження пилу буде тим вище, чим більше ежектірующее водою запиленого повітря і чим інтенсивніше в ньому розвинена турбулентність.

На рис. 3.13. приведена блок-схема алгоритму розрахунку параметрів пилопробивні пристрої (кількість форсунок, тиск води на працюючому зрошувачі, відстань від сопла форсунки до площини забою).

В алгоритмі використовуються наступні позначення:

Q_z - витрата повітря, що подається до забою, м / с;

S_v - перетин вироблення, м²;

a - коефіцієнт витрати форсунки;

d_c - діаметр сопла, см;

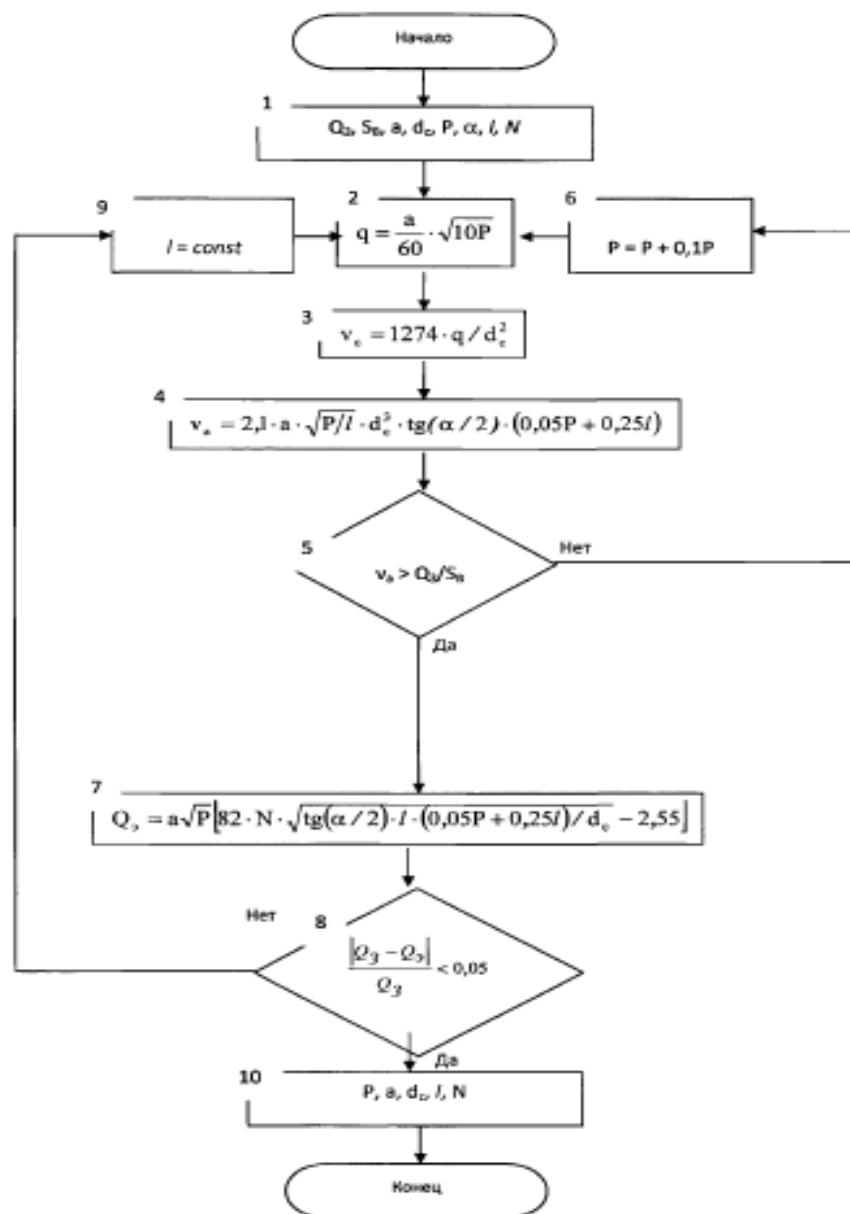


Рис. 3.13. Блок-схема алгоритму розрахунку раціональних параметрів зрошення: P - тиск води на працюючому зрошувачі, МПа; a - кореневої кут факела форсунки; l - відстань від сопла форсунки до площини забою.

Алгоритм розрахунку кількості форсунок для ежектування і знепилювання повітря, що подається у виробки полягає в наступному:

1. Вводяться вихідні дані: Q_3, S_v, a, d_c, α .

2. Задаються початкові умови: P, l, N ($N = 1$).

3. Розраховується швидкість крапель сопло форсунки V_c і середня швидкість аерозолі V_a в перерізі факела у площині зрошення.

4. Розраховується кількість ежектируемого Q_3 факелом повітря

$$Q_3 = a\sqrt{P} \left[82 \cdot N \cdot \sqrt{\lg(\alpha/2) \cdot l \cdot (0,05P + 0,25l) / d_c} - 2,55 \right],$$

де $V_{*} = Q_3 / S_{*}$.

$$\frac{|\varrho_3 - \varrho_3|}{\varrho_3} < 0,05.$$

5. Виконується перевірка умови

Якщо воно не виконується то збільшується значення $P = P + 0,1P$ і розрахунки повторюються з пункту 3.

Інакше виконується пункт 10.

Обчислення, закінчуються при досягненні $P = 2,0$ МПа:

Якщо значення $Q_3 = Q_3$ не досягнуто, то збільшується кількість форсунок $N = N + 1$ до тих пір, поки не виконається умова $Q_3 = Q_3$.

З графіків видно, що при тиску на. зрошувачі $P = 0,9$ МПа і при про кількості форсунок від 6 до 8 досягається: $Q_3 = Q_3 = 21,6$ м³/с.

У зоні активного впливу повітряних струменів і інтенсивного пилоутворення переважаючим стає процес інерційного осадження пилу.

У зв'язку з цим нами, при оптимізації расходу рідини на зрошення взята за основу модель інерційного пилеосаження.

Ефективність пилоподавлення може бути виражена так:

$$E = 1 - \exp \left[- \frac{W_{ac}}{\frac{3}{4} Q X} \cdot \frac{(R + r_n)^2}{R^3} \cdot V_0 \frac{l}{U_a} \right],$$

де Q - кількість повітря, що проходить по виробленню, м / с;

X - коефіцієнт, що враховує кількість повітря, що омиває джерело пилоутворення;

І розмір завіси вздовж напрямку руху-потокa1 крапельок, м.

Основна мета при виробленні алгоритму управління коштами пилоподавлення, домогтися того, щоб залишкова запиленість $C_{ост}$ була мінімальною.

Використовуючи вираз для ефективного зрошення (3.53), а також те,

що

$$E = \frac{C_{нач} - C_{ост}}{C_{нач}}, \quad (3.54)$$

$C_{нач}$ - початкова запиленість повітря, отримуємо:

$$C_{ост} = C_{нач} \cdot \exp \left[- \frac{W_{жс} \cdot (R + r_n)^2 V_0 \cdot l}{\frac{4}{3} Q \cdot \chi \cdot R^3 \cdot U_s} \right],$$

При роботі прохідницького комбайна вибіркової дії початкова запиленість повітря величина зміниться, тому і $C_{ост}$ буде змінної, що залежить від місця руйнування масиву і кількості що подається в забій повітря.

Якщо дотримуються оптимальні режими провітрювання, то

$$C_{нач.з. min} = \frac{0,94 I_0 K_\phi}{2 a l d_0 + 0,417 d_0^2} \sqrt{1 + 0,22 h}$$

і

$$C_{нач.н. min} = \frac{1,28 I_0}{d_0 (H - h)} \sqrt{1 + 0,22 h}$$

при

$$Q_{опт.з.} = 2,11 \frac{2 a l d_0 + 0,417 d_0^2}{K_\phi} \sqrt{1 + 0,22 h}$$

і

$$Q_{опт.н.} = 1,6 d_0 (H - h) \sqrt{1 + 0,22 h} . \quad (3.59)$$

Рішення завдання має враховувати перше обмеження по витраті рідини, але в дещо зміненому вигляді.

Витрата води в середньому за цикл відпрацювання площині забою не повинен перевищувати максимально допустимого питомої витрати, т. Е.

$$\int_0^H W_{\text{ж}}(h) \cdot dh \leq q_{\text{yd}} P_y, \quad (3.60)$$

де q_{yd} - питома витрата рідини, л / т;

P_y кількість видобутої гірничої маси за один цикл, т.

H - висота виробки в кожному циклі, м.

$$P_y = A \cdot t_{\text{ц}}, \quad (3.61)$$

де A - продуктивність комбайна, т / с;

$t_{\text{ц}}$ - час одного циклу, с.

Кількість відбитої маси може бути визначено за цикл так:

$$P_y = \gamma \cdot l_k \cdot S_b, \quad (3.62)$$

$\gamma = 1.5$ - питома вага вугілля, т / м

l_k - заглиблення коронки, м;

S_b - площа перерізу виробки.

Критерієм оптимальності процесу приймаємо мінімальну сумарну запиленість протягом циклу, тобто

$$C_{\Sigma} = \int_0^H C_{\text{осм}}(h) dh = \min, \quad (3.63)$$

Про тоді середня запиленість протягом циклу, теж буде мінімальною

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_{\Sigma}}{t_{\text{ц}}} = \min. \quad (3.64)$$

Виходячи з фізичного змісту ефективності зрошення, можна заздалегідь стверджувати, що функція $W_{\text{ж}}(h)$, що характеризує витрата рідини на одиницю вироблення, буде монотонно зростаючою з ростом H .

Рішення задачі оптимізації зрошення можливе лише чисельними методами.

Функцію передбачуваного зміни витрати рідини з висотою $W_{ж}(h)$, ,
 апроксимуємо (приблизно уявімо) своїми значеннями в n точках по
 висоті: $h_1, h_2, \dots, h_n = H$.

Так як зміна висоти руйнування коронки, при відпрацюванні пласта,
 відбувається стрибкоподібно на величину діаметра коронки, то $\Delta h = d_{ср\kappa}$

$$n = \frac{H}{\Delta h} \approx \frac{H}{d_{ср\kappa}} \quad (n - \text{ціле число}).$$

Число розбиття n може братися будь-яким розумним значенням (при
 неповному, захопленні на глибину коронки), але треба враховувати, що на
 кожному обраному відрізку висоти повинен змінюватися і режим
 зрошення.

Беремо в середині кожного з n інтервалів «представник» інтервалу.

Розглядаємо в цих точках значення функцій $W_{ж}(h)$ и $C_{ост}(h)$.

Позначимо

$$\begin{aligned} W_{ж}(h_i) &= W_i; & i &= 1, 2, 3 \dots n \\ C_{ост}(h_i) &= C_i; & i &= 1, 2, 3 \dots n \end{aligned} \quad (3.64)$$

Тоді вихідна задача буде формулюватися так: знайти такі значення:
 $W_1, W_2, \dots, W_n$,

Пояснення (з урахуванням 3.63):

$$a) \quad W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n \leq q_{y\phi} \cdot P \cdot \frac{n}{H}, \quad (3.65)$$

$$\int_0^n W(h) dh = \int_0^{\Delta h} W(h) dh + \int_{\Delta h}^{2\Delta h} W(h) dh + \dots + \int_{H-\Delta h}^H W(h) dh,$$

або

$$\begin{aligned} \int_0^H W(h)dh &\approx W_1\Delta h + W_2\Delta h + W_3\Delta h + \dots + W_n\Delta h = \\ &= \Delta h \cdot (W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n) = \frac{H}{n} (W_1 + W_2 + \dots + W_n) \end{aligned} \quad (3.66)$$

Пояснення (з урахуванням 3.63):

$$\int_0^H W(h)dh = \int_0^{\Delta h} W(h)dh + \int_{\Delta h}^{2\Delta h} W(h)dh + \dots + \int_{H-\Delta h}^H W(h)dh, \quad (3.67)$$

або

$$\begin{aligned} \int_0^H W(h)dh &\approx W_1\Delta h + W_2\Delta h + W_3\Delta h + \dots + W_n\Delta h = \\ &= \Delta h \cdot (W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n) = \frac{H}{n} (W_1 + W_2 + \dots + W_n) \end{aligned} \quad (3.68)$$

$$б) C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = \min \quad (3.69)$$

Пояснення (з урахуванням 3.63):

$$\int_0^H C_{\text{осм}}(h)dh = \int_0^{\Delta h} C(h)dh + \int_{\Delta h}^{2\Delta h} C(h)dh + \dots + \int_{H-\Delta h}^H C(h)dh \quad (3.70)$$

або

$$\int_0^H C_{\text{осм}}(h)dh \approx (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) \cdot \frac{H}{n} = \min, \quad (3.71)$$

де

$$C_i = C_{\text{нач}}(h_i) \exp \left[- \frac{W_i \cdot (R + r_n)^2 \cdot V_0 l}{\frac{4}{3} \chi Q(h_i) \cdot R^3 \cdot U_a(h_i)} \right], \quad (3.72)$$

$i = 1, 2, 3 \dots n$

Позначимо

$$\begin{aligned} C_{\text{нач}}(h_i) &= d \cdot i, \\ \frac{(R + r_n)^2 \cdot V_0 \cdot l}{\frac{4}{3} Q(h_i) \cdot R^3 \cdot U_a(h_i)} &= b_i, \end{aligned}$$

де $i = 1, 2, 3 \dots$

Тоді (3.72) буде

$$C_i = d_i \cdot \exp(-W_i \cdot b_i) \quad (3.73)$$

Це завдання можна вирішити чисельним наближеним методом. Ідея методу полягає в направленому переборі різних допустимих значень

$\{W_1, W_2, W_3, \dots, W_n\}$ з урахуванням нерівності (3.66) і умов (3.74) і (3.75)

$$W_1 \leq W_2 \leq W_3 \leq \dots \leq W_n$$

$$W_1 > 0$$

з метою відшукування такого набору, при якому приблизно досягається мінімум $\sum c_i = \min$.

Для полегшення виконання завдання вводимо умова:

$$0 < W_i \leq \tilde{c} \cdot \frac{n}{H},$$

$$\text{где } \tilde{c}_i = q_{y0} \cdot P \quad (3.76)$$

Ґрунтуючись на реальних фізичних процесах пилоподавлення зрошення, функцію $W(h)$ можна представити таким виразом

$$W_{\infty}(h) = a \cdot e^{bh} + c, \quad (3.77) \text{ тобто монотонно зростаючій від якогось}$$

початкового значення $W_1 > 0$, де $a > 0$ - розтягнення вздовж осі; $b > 0$ - як показує розрахунок,

Отримані в результаті розрахунку витрати рідини на одиницю висоти

$$\text{для реальних умов } (h \leq 3 \div 4 \text{ м, } W \leq 50 \div 60 \text{ л/м; } v < 4)$$

$c > 0$ - зсув початкового значення W_{∞} .

Блок-схема алгоритму розрахунку оптимальної витрати води на зрошення, зі зміною місця руйнування масиву по перетину вироблення, наведена на рис. 3.14.

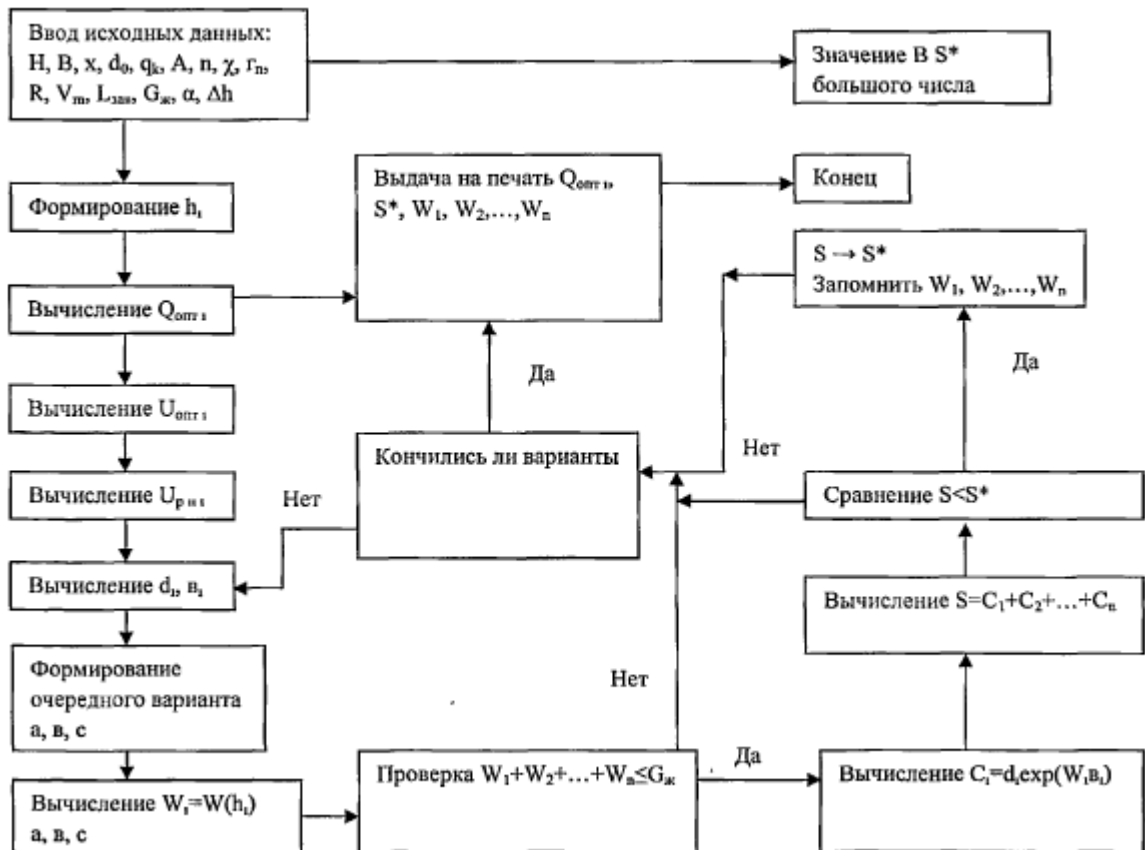


Рис. 3.14. Блок-схема алгоритму розрахунку

Вироблення слід висловити в літрах . Для цього визначається час, протягом якого відпрацьовується висота/

$$t_{\Delta h} = \frac{t_y}{n} = \frac{t_y}{\frac{H}{\Delta h}} = t_y \cdot \frac{\Delta h}{H}$$

Витрата в одиницях, зручних для розрахунку кількості та типу форсунок, тиску в системі, буде розраховується:

$$q_1 = \frac{W_1}{t \cdot \Delta h}$$

$$t_y = \frac{\gamma \cdot l_k \cdot S_a}{A}$$

Число форсунок , одночасно підключаються для зрошення буде знаходиться (при відомому тиску)

$$N_{\phi} = \frac{q_1}{q_{\phi}}$$

де N_{ϕ} – число форсунок обраного типу;

q_{ϕ} – продуктивність однієї форсунки, л / хв.

Висновки

1. Оптимальні витрати повітря, в залежності від місця розташування робочого органу комбайна і аеродинамічних параметрів вироблення визначаються:

- для зони дії лобових швидкостей:

$$Q_{опт л} = 2,11 \frac{2ald_0 + 0,417d_0^2}{K_{\phi}} \sqrt{1 + 0,22h} ;$$

- для зони дії настільних швидкостей:

$$Q_{опт н} = 1,6d_0(H - h)\sqrt{1 + 0,22h}$$

2. Запропонований метод розрахунку оптимальних параметрів провітрювання дозволяє прогнозувати запиленість в забої і вибирати, найбільш раціональні режими.

3. При визначенні ефективності пилоподавлення зрошенням, в зоні змішання, за основу розрахунку може бути прийнятий інерційний механізм пилеосадження.

4. Запропоновано блок-схема алгоритму розрахунку оптимальної кількості рідини на зрошення в залежності від аеродинаміки привибійної зони і висоти падіння відбитої гірничої маси, що дозволяє одночасно знаходити і оптимальний витрата повітря.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗНЕПИЛЕННЯ

4.1. Динаміка фракційного складу пилу в підготовчих виробках вугільних шахт

У процесі руху по підготовчій виробці від забою до гирла спадання масової концентрації пилу викликається її осадженням.

Різке осадження фракцій 500 - 25 мкм в привибійній зоні (до 30 - 50 метрів) обумовлено відносно невисокою швидкістю повітря в тупикових виробках.

У більшості випадків поздовжня швидкість потоку знаходиться в межах 0,25 - 0,60 м/с. Це призводить до низької поперечної складової швидкості у виробленні, обумовленої турбулентним режимом руху повітря.

При русі повітря за 30 - 50 метрами від забою в підготовчій виробці концентрація пилу практично стабілізується. У рудниковому повітрі залишаються тонкі фракції пилу, основу маси яких становлять частки 5-15 мкм.

Динаміка зменшення (осадження) різних фракцій пилу представлена на рис. 4.17.

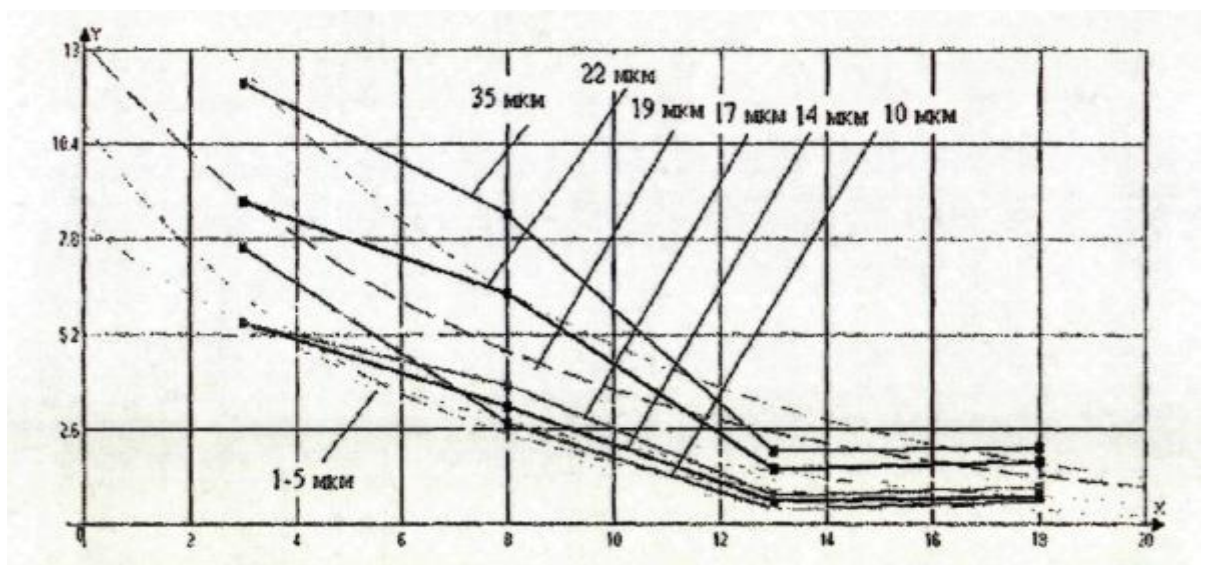


Рис. 4.17. Динаміка осадження різних фракцій пилу (точками фактичні дані, пунктиром - апроксимація)

Математично дисперсний склад пилу в підготовчій виробці може бути представлений у вигляді залежностей, в яких аргументом є випадкова величина B аеродинамічного діаметра частинок, а функцією - процентне відношення (або частка) маси частинок діаметра B в пробі пилу. як і

всі випадкові величини B має функцію розподілу:

$$F(d) = P\{D < d\} \quad (4.8)$$

Також визначається функція щільності розподілу $f(d)$, в даному випадку - роздільна гранулометрическая функція. Дані функції пов'язані співвідношенням:

$$f(d) = F'(d) = \frac{d}{dx} F(d) \quad (4.9)$$

В свою чергу

$$F(d_1 < d < d_2) = \int_{d_1}^{d_2} f(d) dx \quad (4.10)$$

Інтегральна гранулометрична функція (за визначенням 4.10) розмірності не має і виражається в частках або відсотках, щільність розподілу протилежна розмірності випадкової величини. Для: $f(d)$ - це мкм.

Стосовно до предметної області - пиловий динаміці функція розподілу $F(d_i)$ називається інтегральною функція дисперсного складу вугільного пилу. Функція $F(d_i)$ за визначенням може записуватися:

де d_i - розглядається (поточний) значення аеродинамічного діаметра частинок.

Для умов пиловиділення в шахті число які виникають частинок звичайно, але досить велике. При цьому величина з d може приймати безперервні значення в діапазоні 0 - 1000 мкм, верхня межа в 1000 мкм

встановлена виходячи з діаметра частинок, які беруть участь у вибухах. У свою чергу, чисельний експеримент обмежений числом каналів лазерного аналізатора. Для 62 каналів функції $F(d)$ и $f(d)$ визначаються по 62 аеродинамічним діаметрами частинок пилу з d_i ($i=1 \div 62$).

У випадку дискретних значень аргументу гранулометричні функції мають розривні ступінчасті графіки. Вони можуть перетворюватися в безперервні функції.

Виходячи з визначення щільності розподілу інтеграл в межах від 0 до 1000 дорівнює 1: $\int_0^{1000} f(d) dd = 1$ (4.11) де dd - диференціал по змінній величині аеродинамічного діаметра частинок пилу.

З практичних міркувань верхня межа інтегрування в (4.11) приймається рівної 1000 виходячи з величини частинок пилу.

Крім детальних характеристик у вигляді $F(d)$ и $f(d)$ для узагальненої характеристики зміни складу пилового аерозолі (аерогелю) застосовані чисельні характеристики: математичне сподівання $M[D]$, мода Md медіана Med , дисперсія $D[D]$, середнє відхилення $\sigma[D]$. Чисельні характеристики визначаються за формулами:

$$\int_0^{1000} f(d) dd = 1$$

де dd - диференціал по змінній d

$$M[D] = \int_0^{d_{\max}} d \cdot f(d) dd = \sum_{i=1}^{N_k} d_i \cdot f(d_i),$$

$$Med = P\{D < d_i\} = P\{D > d_i\} = 0,5$$

$$D[D] = M[D^2] - (M[D])^2$$

$$\sigma[D] = \sqrt{D[D]}$$

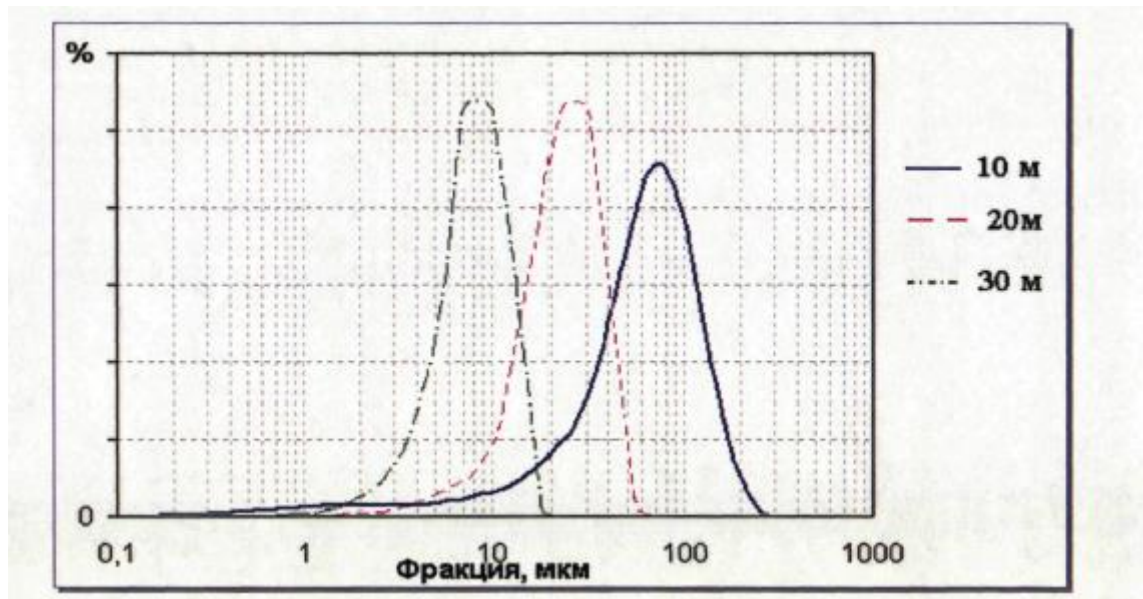


Рис. 4.18 Зміни фракційного складу пилу при її видаленні від джерела (підготовчого вибою)

Як видно з Рис. 4.18, дисперсний склад пилу різко змінюється при видаленні аерозолі від джерела пилоутворення. На логарифмічній сітці по осі абсцис $\hat{}$ - аеродинамічний діаметр) на Рис. 4.18 видно, що основу маси пилу на відстані 5 - 10 м від забою складають частинки 10 - 260 мкм. Мода пилу в даному випадку - 65 мкм, медіана і математичне очікування для наведеного окремого випадку - близько 60 мкм. Далі діапазон діаметрів витають частинок різко звужується (5 - 45 на 20 м та 2 - 18 на 30 м від вибою).

4.2. Шахтні дослідження запиленості та ефективності засобів пилоподавлення

У процесі досліджень визначався фракційний склад пилового аерозолю на робочих місцях при використанні сучасних систем зрошення комбайна, а також при одночасному використанні зрошення і пиловідсмоктування в процесі проведення виробок.

Експериментальні дані запозичені з шахт донбасу та обрані найоптимальніші.

Схема нагнітально-всмоктуючого провітрювання з пиловідсмоктувач штреку 1 324 приведена на рис. 4.19, а технологічна схема розміщення обладнання до комбайна вибіркової дії дошка МГ) 1100 приведена на рис. 4.20 і 4.21.

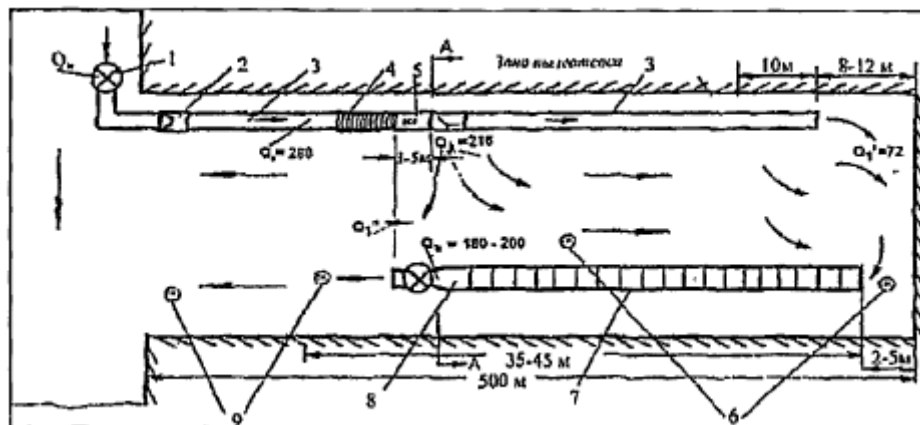


Рис. 4.19 - Первісна нагнітально-всмоктувальна схема вентиляції штреку де

- 1- нагнітальний вентилятор (ВМП)
- 2- пристрій УРВ
- 3- гнучкий трубопровід
- 4- акумулятор вентиляційної труби
- 5- датчик швидкості повітря
- 6,9 - датчики метану
- 7 - всмоктувальний спіральний трубопровід

Результати вимірювань рівнів запиленості при роботі комбайна МБ1100 по проходке вироблення, наведені в табл. 4.2. і 4.3.



Рис. 4.20 - Система нагнітально-всмоктуючого провітрювання тупикової виробки (всмоктуючий трубопровід справа на комбайні)

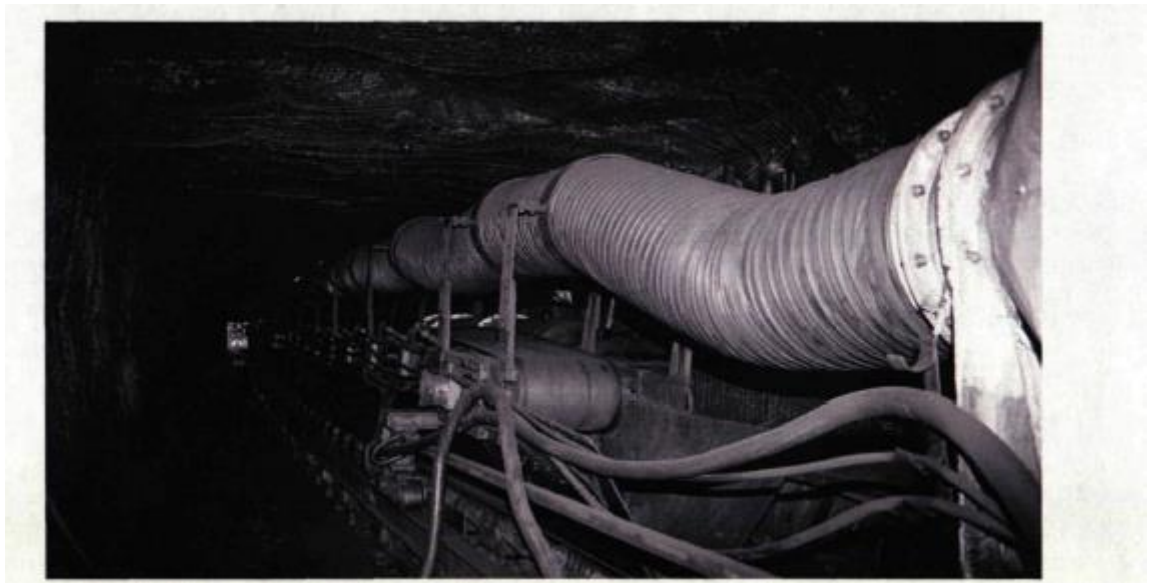


Рис. 4.21 - Розміщення пиловідсмоктування (в правому кутку) і усмоктувального трубопроводу на конвеєрі

Рівні запиленості на робочих місцях комбайна (без роботи пиловідсмоктування)

Таблиця 4.2

Точка измерения	Замер 1, мг/м ³	Замер 2, мг/м ³	Замер 3, мг/м ³	Среднее значение, мг/м ³
1	137,2	159,0	324,5	206,9
2	1005,3	170,2	-	587,75
Средняя запыленность по сечению, мг/м ³	339,2			

Рівні запиленості на робочих місцях комбайна при нагнітально-всмоктуючому провітрюванні з пиловідсмоктувача.

Таблиця 4: 3

Точка измерений	Замер 1, мг/м ³	Замер 2, мг/м ³	Замер 3, мг/м ³	Среднее значение, мг/м ³
1	105,1	137,2	109,5	117,3
2	159,3	144,2	170,0	157,8
Средняя запыленность по сечению, мг/м ³	137,6			
Величина запыленности в % от первоначальной по табл. 2.	40,56			

У штреку подача системи вентиляції забою становила 6,2-6,9 про м/с, середня подача вентилятора в системі всмоктування $Q - 3,0$ м / с. Витрати повітря, в нагнітаючою і всмоктуючою підсистем не в повній мірі відповідають вимогам (4.16) :

$$\begin{aligned} Q_{п.о} &< Q_{3п} \\ Q_{п.о} &\approx 0,8 Q_{3п} \end{aligned}$$

Відсутність регулюючих пристроїв на всмоктуючому вентиляторі пиловідсмоктування дозволяє виконати тільки суворе нерівність з (4.16), співвідношення обсягів всмоктується; і повітря, що нагнітається в пропорції $Q_{п.о} \approx 0,55 Q_{3п}$ знижує ефективність пиловідсмоктування. Швидкість вентиляційного струменя на, вихід з нагнітального

трубопроводу діаметром 1 м; становила 7,95 м/с (по датчику АГЗ) або 8,8 м/с (при замірах АПР- 2). Швидкість повітря у всмоктуючому трубопроводі діаметром 0; 6 м склала 11,2 м/с.

Наклонний конвеєрний стовбур пласта 52 шахти Котінская проводився комбайном фронтальної дії, JOY 12GM30. Комбайн оснащений системою зрошення; а також системою вбудованого пиловідсмоктування; змонтованого безпосередньо-на корпусі комбайна.

Подача повітря, в забій здійснювалася, по нагнітальному гнучкому трубопроводу діаметром V м. Швидкість повітря на виході з трубопроводу становила 11,78 - 15,5 м/с в залежності від довжини тупикової виробки. Швидкість повітря у виробці - 0,42 м/с, перетин вироблення - 22,3 м. Система нагнітально-всмоктуючого провітрювання працювала в двох режимах:

а) «комбайн рубає», все повітря скидається на відстані 25-30 м від площини забою, працює пиловідсмоктувач;

б) «комбайн не рубає», все повітря додається до площини забою, пиловідсмоктувач вимкнений.

При цьому рівні шуму, що генеруються вентилятором пилеотсоса1 (табл. 4 і 5), значно перевищують ПДУ. Перевищення становить від 27 до 38 дБ.

Результати вимірювання рівнів запиленості при проведенні виробки комбайном.

Таблиця 4.4

JOY 12CM30.

Рабочее место (р.м.)	Запыленность, мг/м ³		Системы обеспыливания	ПДК, мг/м ³	Класс условий труда
	замер	средняя			
р.м. машинист горных выемочных машин (свежая струя)	183,3	155,4	Орошение	10	3,4
	122,6				
р.м. проходчик подземный (оператор крепи, исходящая струя)	1100,9	994,7	Орошение	10	3,4
	888,8				
р.м. машинист горных выемочных машин (свежая струя)	36,6	23,6	Пылеотсос Орошение	10	3,2
	10,6				
р.м. проходчик подземный	92,8	80,5	Пылеотсос Орошение	10	3,3
	68,2				

Результати вимірювання рівнів шуму:

Таблиця 4.5

Номер точки	Наименование рабочего места	Характер выполняемой работы	Уровень звука, дБА	Эквивалентный уровень звука, дБА	ПДУ	Класс условий труда
1	р.м. машиниста горных выемочных машин	Выемка горной массы	122	116	8	4 (опасный)
3	р.м. проходчика	Крепление горных выработок	127	121	8	4 (опасный)

Аналіз фракційного складу пилу в аспіраційних системах пиловловлення вказує на високу ефективність уловлювання всіх фракцій пилу. При цьому пил з А.Д. більше 270 мкм ефективно пригнічується системами зрошення комбайна і на відстані більше 2,5 м від грудей прохідницького * забою в стані витання не була зафіксована. В пиловідсмоктування осідає пил:

- на сітці пиловловлювача 99,5% пилу становлять частинки 1 - 170 мкм з модою 37 мкм;
- в водній суспензії і шлаковідстійники міститься пил 1-110 мкм;
- (99,5% загальної маси) з модою 29; 5 мкм;

— в стані витання на робочому місці машиніста комбайна фракційний склад залишкової пилу 1-41 мкм з модою-21 мкм, сумарна частка респерабельних фракцій пилу не перевищує 0,33%.

Схема проведення вимірювань представлена на рис. 4.22.

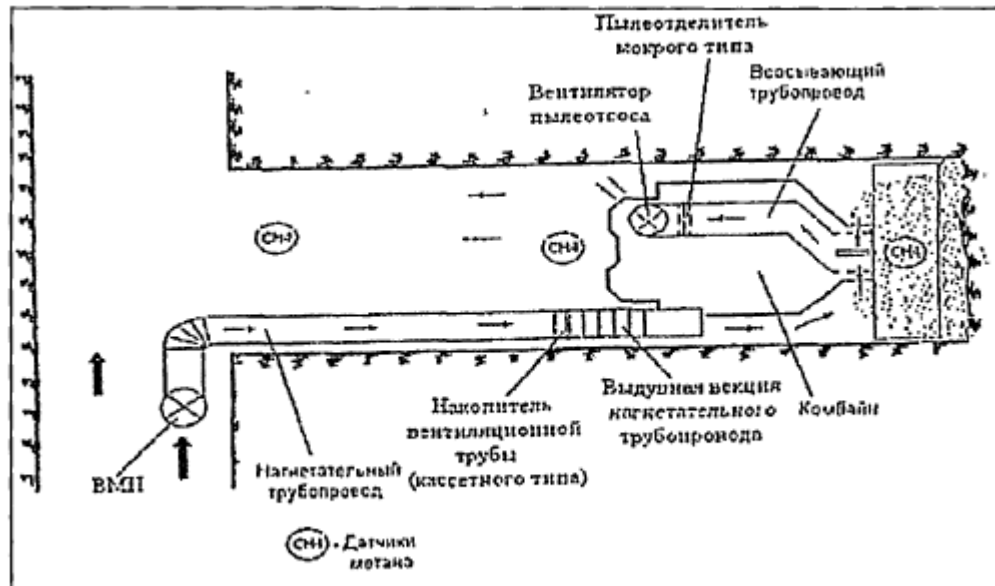


Рис. 4.22. Схема провітрювання підготовчої виробки і місця відбору проб пилу

При використанні в якості єдиного засобу боротьби з пилом системи зрошення комбайна JOY 12CM30 відзначені досить високі рівні запиленості на робочому місці машиніста комбайна (більше 12-15 ГДК).

Результати вимірювань запиленості повітря (за загальною масою пилу) представлені в табл. 4.2.-4.4. Узагальнені дані вказують на різке (в 7,5 - 12 разів) зниження рівнів запиленості повітря-при застосуванні пиловідсмоктування встроеного типу; близько 95% загальної маси пилу; утворюється при-руйнуванні масиву, вловлюється:

4.3. Перевірка умови за пиловим і газовим факторів при рециркуляції повітря

Необхідно також знати, з якою інтенсивністю буде зростати концентрація пилу і газу в призабійній зоні за рахунок рециркуляції

повітря, через який час концентрація шкідливих речовин досягне допустимого значення.

Слід зауважити, що забезпечення кратності відсмоктування $y > 1$ вимагає установки потужних пиловловлювачів.

Баланс домішки в привибійній зоні в будь-який момент часу описується диференціальним рівнянням.

$$dc = -\Delta \cdot v_c \cdot C \cdot dt - \gamma \cdot C \cdot dt + (\gamma - 1) \cdot C_1 \cdot dt \quad (4.19)$$

де Δ – коефіцієнт седиментації пилу, м²/с;

V_c – швидкість осідання пилу, м/с;

y – кратність відсмоктування;

C_1 – залишкова концентрація пилу в повітрі, що повертається в забій; мг/м³;

C – початкова концентрація пилу в призабойному просторі, мг/м³.
Перший член правої частини рівняння характеризує зменшення концентрації пилу за рахунок осідання її з потоків, другий член – зменшення концентрації пилу за рахунок відсмоктування запиленого повітря в забої, третій – зростання концентрації пилу в результаті рециркуляції.

Ввівши коефіцієнт $\beta_1 = \gamma + \Delta \cdot V_c$ і проінтегрував (4.19), – отримаємо формулу для визначення концентрації пилу в будь-який момент часу:

$$C = (1/\beta_1) \{(\gamma-1) C_1 + [\beta_1 C_2 - (\gamma-1) C_1] \exp(-\beta_1 t)\} \quad (4.20)$$

З виразу 4.19 отримаємо формулу для визначення часу, протягом якого концентрація пилу досягне допустимої концентрації $C_{\text{доп}}$:

$$t = (1/\beta_1) \ln [(\beta_1 C_2 - (\gamma-1) C_1) / (\beta_1 C_{\text{доп}} - (\gamma-1) C_1)] \quad (4.21)$$

Формула справедлива за умови:

$$\begin{aligned} C_2 < C_{\text{доп}} < (1/\beta_1)(\gamma-1) C_1, \\ C_2 < C_{\text{доп}} < C_1 \end{aligned}$$

Розрахунок кількості повітря для провітрювання призабойного простору за газовим фактором при рециркуляції.

Складемо диференціальне рівняння, що описує аерогазодинаміки при провітрюванні підготовчої виробки з використанням в призабойному просторі пилеуловимі установки, що працює на повну рециркуляцію.

Покладемо, що в момент часу t концентрація метану в обсязі V_1 дорівнює C_1 (1), а в обсязі V_2 - C_2 (1). За інтервал часу від t до $t + \Delta t$ в зонах, обмежених обсягами V_1 і V_2 , відбудуться такі зміни:

- із зони V_1 в зону V_2 винесе $(Q_T - Q_y) c_1 dt$ метану;
- із зони V_1 по всмоктуючому трубопроводу пиловловлювача винесе $Q_y C_1 dt$ метану;
- в цю зону виділиться метану в кількості $I_1 dt$;
- в зону V_1 через пиловловлювач і магістральний трубопровід надійде $(Q_{yc} + Q_{Tc0}) dt \times (Q_y + Q_T - Q_K) / (Q_y + Q_T)$ метану;
- в зону V_2 винесе $(Q_T + Q_K - Q_K - Q_y) c_1 dt = (Q_T - Q_y) c_1 dt$ метану із зони V_1 ; в зону V_2 надійде з розподільника повітря $(Q_y C_1 + Q_{Tc0}) dt (Q_K / (Q_y + Q_T))$ метану;
- в зону V_2 виділиться $I_2 dt$ метану; із зони V_2 виділиться $Q_K C_2 dt$ метану.

З перших чотирьох положень отримаємо диференціальне рівняння:

$$V_1 d(c_1) = I_1 dt + (Q_{yc} + Q_{Tc0}) dt \times ((Q_y + Q_T - Q_K) / (Q_y + Q_T)) - (Q_T - Q_y) c_1 dt - Q_y c_1 dt \quad (4.22)$$

З останніх чотирьох положень отримаємо: $V_2 d(c_2) = (Q_T - Q_y) c_1 dt + I_2 dt + (Q_{yc} + Q_{Tc0}) \times (Q_K / (Q_y + Q_T)) - Q_{Tc2} dt \quad (4.23)$

Після переходу до границі при $dt \rightarrow 0$ отримаємо систему звичайних диференціальних рівнянь; причому друге рівняння вирішується підстановкою результату, отриманого після рішення першого.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d(c_1)}{dt} &= \frac{I_1}{V_1} + \frac{Q_y c_1 + Q_T c_0}{V_1} \times \frac{Q_y + Q_T - Q_K}{Q_T + Q_y} - \frac{(Q_T - Q_y) c_1}{V_1} - \frac{Q_y c_1}{V_1} \\ \frac{d(c_2)}{dt} &= \frac{I_2}{V_2} + \frac{(Q_T - Q_y) c_1}{V_2} + \frac{Q_y c_1 + Q_T c_0}{V_2} \times \frac{Q_K}{Q_y + Q_T} - \frac{Q_T c_2}{V_2} \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Початкові умови для вирішення системи

$$c_1(0) = c_2(0) = c_0 \quad (4.25)$$

Умова стаціонарності при $\frac{d(c_i)}{dt} = 0$ приводить до алгебраїчної системи рівнянні:

$$\left. \begin{aligned} I_1 + \frac{(Q_y c_1 + Q_T c_0)(Q_y + Q_T - Q_K)}{Q_y + Q_T} &= (Q_T - Q_y) c_1 + Q_y c_1 \\ I_2 + (Q_T - Q_y) c_1 + \frac{(Q_y c_1 + Q_T c_0) Q_K}{Q_y + Q_T} &= Q_T c_2 \end{aligned} \right\}$$

де Q_y - продуктивність пиловловлювача;

Q_T - кількість подаваного свіжого повітря;

Q_K - витрата повітря через розподільник повітря;

C_0 - вміст метану в свіжому струмені, м/м;

C_1 - вміст метану в повітрі обсягу V_1 м/м;

C_2 - вміст метану в повітрі обсягу V_2 , м/м

У разі рівного розподілу $C_K = C_0$ система (4.25) набуде вигляду:

$$\left. \begin{aligned} I_1 + \frac{(Q_y c_1 + Q_T c_0) Q_T}{Q_y + Q_T} &= Q_T c_1 \\ I_2 + \frac{(Q_y c_1 + Q_T c_0) Q_y}{Q_y + Q_T} + (Q_T - Q_y) c_1 &= Q_T c_2 \end{aligned} \right\}$$

Введемо позначення $K = Q_y / Q_T$, тоді (4.26) після перетворень можна записати в вигляді: 1г0.т

$$\begin{aligned} \frac{I_1 Q_y}{Q_T} + \frac{I_1 Q_T}{Q_T} + Q_y c_1 + Q_T c_0 - Q_y c_1 - Q_T c_1 &= 0 \\ \frac{I_2 Q_y}{Q_y} + \frac{I_2 Q_T}{Q_y} + \frac{Q_T c_1 (Q_y + Q_T)}{Q_y} + Q_y c_1 - \frac{Q_y c_1 (Q_y + Q_T)}{Q_y} + Q_T c_0 - \frac{Q_T}{Q_y} (Q_y + Q_T) c_2 &= 0 \end{aligned}$$

Або у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} KI_1 + I_1 + Q_T(c_0 - c_1) &= 0 \\ I_2 + \frac{I_2}{K} + Q_T \left(\frac{c_1}{K} + c_0 - c_2 - \frac{c_2}{K} \right) &= 0 \\ Q_T &= \frac{I_1(1+K)}{c_1 - c_0} \\ Q_T &= \frac{I_1(1+1/K)}{c_2 + c_2/K - c_1/K - c_0} \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

З аналізу рівнянь системи (4.27) можна зробити наступний висновок: якщо при розрахунку провітрювання привибійної частини підготовчої виробки по газовому фактору брати за основу перше рівняння, то газовиділення в зону V_2 (з транспортується вугілля і з бічних оголених поверхонь пласта в межах зони V_2 має бути не більше величини, яка визначається з співвідношення:

$$I_2 < \frac{I_1(c_2K + c_2 - c_1 - c_0K)}{c_1 - c_0}$$

При нормальному режимі провітрювання, коли $C_1 = C_2 = C_{пдк}$ співвідношення (4.28) набуде вигляду:

$$I_2 < \frac{I_1(c_{пдк}K + c_{пдк} - c_{пдк} - c_0K)}{c_{пдк} - c_0} = \frac{I_1K(c_{пдк} - c_0)}{c_{пдк} - c_0} = I_1K$$

Таким чином, при підстановці в друге рівняння системи (4.27) граничного значення $I_2 = I_1K$, воно набуде вигляду першого, а саме;

$$Q_T = \frac{I_1K(1+1/K)}{c_{пдк} + c_{пдк}/K - c_{пдк}/K - c_0} = \frac{I_1(1+K)}{c_{пдк} - c_0}$$

Якщо ж газовиділення I_2 в зону V_2 більше $I_2 > I_1K$, то остаточно приймається Q_T , розраховане по другому рівнянню системи (4.27). Наприклад, дані наступні величини, що характеризують провітрювання привибійної частини підготовчої виробки за запропонованим способом: $\Pi = 0,5$ м / хв;

$$I_2 = 0,4 \text{ м}^3/\text{хв}; \quad c_1 = c_2 = c_{пдк} = 0,01; \quad K = 0,7; \quad c_0 = 0,00.$$

По першому рівнянню необхідну кількість повітря для безпечного провітрювання виробки по газовому фактору визначиться величиною, рівною

$$Q_T = \frac{0,5(1+0,7)}{0,01} = 85 \text{ м}^3/\text{хв}$$

По другому рівнянню:

$$Q_T = \frac{0,4(1+\frac{1}{0,7})}{0,01} = 97 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Остаточно приймається 97м / хв.

4.4. Зниження ризику виникнення захворювання пилової етіології

Розвиток пневмоконіозів визначається накопиченням в альвеолах легких пилових частинок з аеродинамічним діаметром $\sim 2,5$ мкм. Більші частинки діаметром до 8 мкм проникають в альвеоли людини в невеликій кількості, складаючи кілька-відсотків від інгаліруємих частинок, проте вони набагато повільніше виводяться з легких. Найменша відкладення в альвеолярної тканини характерно для частинок менше 0,5 мкм.

Наслідком накопичення пилу в легенях є розвиток пневмоконіоз - стадійного прогресуючого процесу формування фіброзу з комплексом запальних і компенсаторно-приспосувальних реакцій в бронхах і легеневої тканини.

Аерозольні частинки діаметром 10 мкм і більше осідають в основному в бронхах здорової людини і є однією з основних причин розвитку професійного пилового бронхіту. Встановлено, що на це захворювання страждають близько 50% всіх вийшли на пенсію шахтарів, які працювали в очисних і прохідницьких забоях. Запалення бронхів - хронічний бронхіт може розвиватися як ускладнення пневмоконіозу, а також як самостійне професійне захворювання. У розпалі захворювання порушення працездатності, пов'язане із загостренням, повторюється до 3-4 разів на рік і більше. Пневмоконіоз і хронічний бронхіт призводять хворих

до інвалідності, так як спочатку розвивається дихальна, а пізніше і серцева недостатність.

В умовах перевищення ГДК показником оцінки ступеня впливу АПФД на органи дихання працюючих є пилова навантаження (ПН) 1 або експозиційна доза (ПЕД). Пилова «навантаження, на органи, дихання працюючого - це реальна або прогностична, величина сумарної експозиційної * дози пилу, яку робочий вдихає за весь період фактичного або передбачуваного професійного контакту з фактором. Використання значення ПН, що враховує крім ССК пилу і значення обсягу легеневої вентиляції, зробило можливим розмежувати ризик, якому піддаються в запиленому повітрі робочі різних професій з різним ступенем тяжкості.

ПН на органи дихання робітника (або групи робітників, якщо вони виконують аналогічну роботу в однакових умовах)

$$ПН = ССК \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (4.31)$$

де ССК - фактична середньозмінна концентрація пилу в зоні дихання працівника, мг/м³;

N - робочих змін в календарному році;

T - кількість років контакту з АПФД;

Q - обсяг легеневої вентиляції за зміну, м³.

Причому значення ССК і Q приймаються як середньозважені величини за весь період роботи:

для робіт категорії 1а - 1б обсяг легеневої вентиляції за зміну - 4м³,

для робіт категорії 1а - 1б - 7 м³;

для робіт категорії III - 10 м³.

Отримані значення фактичної ПН порівнюють з величиною контрольної пилової навантаження, значення якої розраховують залежно від фактичного або передбачуваного стажу роботи, гранично допустимої концентрації (ГДК) пилу і категорії робіт відповідно.

Контрольний рівень пилової навантаження (ВПП) визначається:

$$КПН = ПДК \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (4.32)$$

де ГДК - середньозмінна гранично допустима концентрація пилю в зоні дихання працівника, мг / м³.

За відповідності фактичної пилової навантаження контрольного рівня умови праці відносять до допустимого класу і підтверджується безпеку продовження роботи в тих же умовах.

Звертає на себе увагу невідповідність високих пилових навантажень і показників середнього стажу, при якому реєструються захворювання пилової етіології. Стаж, при якому набирається контрольна пилова навантаження, становить для гірників шахт):

машиніст комбайну - 2,5 - 6 років;

прохідник - 3,5 - 6 років;

гірник підземний - 7,5 - 12 років.

За даними центру профпатології р. Новокузнецька велика частина профзахворювань реєструється при стажі роботи в контакті з пилом більше 20 років, близько 40% - при стажі від 10 до 20 років.

Очевидно, що у формулі для розрахунку пилової навантаження замість, значення середньозмінної концентрації (СЕК) необхідно використовувати значення ССК1 з урахуванням часу застосування ЗІЗОД. З огляду на проведені дослідження ефективності і часу використання ЗІЗОД для розрахунку пилової навантаження пропонується формула для розрахунку ССК ':

$$ССК' = \frac{\sum (0,9t_m \cdot C_0 \cdot K_p + 0,1 \cdot t_m \cdot C_0) + C'(T_{см} - t_m)}{T_{см}},$$

де С - середньозважена концентрація пилю в період, коли не працює технологічне обладнання, мг / м³;

Тсм- час тривалості зміни, хв;

- час роботи устаткування, що порошить механізму (технологічного обладнання), хв.

Розрахунок ПН на планований період дозволить скорегувати дії роботодавця з метою її регулювання різними методами від «захисту часом» до скорочення темпів проходки

ВИСНОВКИ

Встановлено, що перспективним напрямком удосконалення пилоподавлення в комбайновому прохідницькому забої є застосування регульованих параметрів! коштів! пилоподавлення, що включають: основні способи провітрювання, зовнішнє зрошення джерела пиловиділення і пиловідсмоктувальної пристрій.

Встановлено механізм зміни інтенсивності пиловиділення при роботі комбайнів вибіркової дії, що дозволяє:

- дати оцінку впливу швидкісних параметрів повітряних потоків у площині забою на зміну запиленості;
- встановити взаємозв'язок запиленості повітря і схеми обробки площині забою.

Дано рішення одновимірною рівняння турбулентної дифузії для тупикової виробки при змішаному змінному пиловидаленням на основі лінійності перетворення Лапласа і ступінчастої функції Хевісайда, що дозволяє розраховувати концентрацію домішок в часі і просторі з урахуванням мінливої дисперсності.

Розроблено алгоритм і методики розрахунку раціональних витрат рідини на зовнішнє зрошення і повітря, що подаються в забій з урахуванням ежектующої здатності вільно розташованих зрошувачів при зміні їх кількості, взаємного розташування і тиску рідини в зрошувальному трубопроводі.

Обґрунтовано можливість і умови застосування регульованого пиловідсмоктування з газового та пиловим факторів з урахуванням рециркуляції частини повітря в тупиковому вибої.

Встановлено залежність зміни концентрації пилу від відстані до джерела пиловиділення і поздовжньої швидкості повітря, визначена динаміка фракційного складу аерозолю при його переміщенні по гірничій виробці. Отримано залежність зміни концентрації пилового аерозолю від продуктивності комбайна. З ростом швидкості повітря зростає величина моди пилу.

На підставі шахтних експериментів встановлено, що в зоні робочого місця машиніста прохідницького комбайна характерна наявність грубих частинок пилу (75-171 мкм) - 35-54%, частка респірабельних фракцій - менше 2,9%, частки 1-4 мкм складають 0,57 %. Система нагнетательно-всмоктуючого провітрювання з вбудованим пиловідсмоктувач дозволяє знизити рівень запиленості на робочому місці машиніста з 123-188 мг/м до 10,6-33,6 мг/м (в 5-10 разів).

Розроблено блок-схема управління параметрами пилоподавлення, що дозволяє забезпечувати їх регулювання і роботу в раціональних режимах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: Основа, 1996. – 421 с.
2. Пояснювальна записка до блоку 10 шахти «Красноармійська – Західна №1» – Красноармійськ: ВАТ «Вугільна компанія «Шахта «Красноармійська – Західна №1».
3. Правила технічної експлуатації вугільних та сланцевих шахт – М.: Недра, 1976. – 304 с.
4. Комплексна програма розвитку шахти. Пояснювальна записка. Том I – Луганськ ГОАО «Луганськгіпрошахт», 2005. – 114 с.
5. Методичні вказівки з організації підготовки магістрів та виконання кваліфікаційної роботи магістра. - Донецьк: ДонНТУ, 2003. - 20 с.
6. Правила технічної експлуатації вугільних та сланцевих шахт – Київ: Мінвуглепром України, 2006. – 354 с.
7. Гірничий закон України від 06.10.99 №1127-XIV.
8. Аерологія гірничих підприємств: Підручник для вузів. - 3-е изд., Перераб. і доп. / К.З. Ушаков, А.С. Бурчак, Л.А. Пучков, І.І. Медведєв. - М.: Недра, 1987. - 421 с.
9. Керівництво з проектування вентиляції вугільних шахт / Под ред. С.В. Янко, С.П. Ткачук, Л.Ф. Баженова та ін. - К.: Основа, 1994. - 312 с.
10. Методичні вказівки з оформлення і захисту студентських робіт (для студентів усіх спеціальностей і форм навчання) / Укл. О.О. Ісаєнков, Я.О. Ляшок. – Красноармійськ: Кф ДонНТУ, 2003. – 54 с.
11. ДСТУ 3008-95. Державний стандарт України. Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 36 с.
12. Голембієвський П.П., Подтикалов О.С., Костюк І.С. Оформлення та захист студентських робіт: Методичні вказівки. – Донецьк: ДонНТУ, 2003.-60 с.

13. Обладнання та апаратура для дегазаційних робіт на шахтах. Каталог. / ЦНІЕІ вугіль. - Москва, 1989. - 192 с.
14. Охорона праці: Підручник для вузів / К. З. Ушаков, Б. Ф. Кірін, Н. В. Ножкин і ін. Під ред. К. З. Ушакова. - М.: Недра, 1986. - 624 с.
15. Ушаков К. З., Бурчак А. С., Пучков Л. А., Медведєв І. І. Аерологія гірничих підприємств: Підручник для вузів. - 3-е изд., Перераб. і доп. - М.: Недра, 1987. - 421 с.
16. Руднична вентиляція: Довідник / Н. Ф. Гращенков, А. Е. Петросян, М. А. Фролов та ін.; Під ред. К. З. Ушакова. - 2-е изд., Перераб. і доп. - М.: Недра, 1988. - 440 с: ил.
17. Дегазація вугільних шахт. Вимоги до способів та схем дегазації: СОУ 10.1.00174088.001 - 2004.
18. Бокий Б. В., Касимов О. І. Перспектива вилучення метану з техногенних скупчень // Вугілля України. - 2005. - №5.
19. М. В. Білошицький, А. А. Троїцький. Використання шахтного метану як енергоносія // Турбіни і дизелі. - 2006. - №9.