МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

Кваліфікаційна наукова праця

на правах рукопису

ГОРОБЕЙ МАРИНА СЕРГІЇВНА

Прим №_____

УДК 504.054: 622.807:622.411.52

ДИСЕРТАЦІЯ

ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДЕННЯ КАРБОНОВМІСНИМ ПИЛОМ

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека
Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____М.С. Горобей

Науковий керівник **Костенко Віктор Климентович**, д. техн. наук, професор,
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Горобей М.С. Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Київ, 2020. Спеціалізована вчена рада Д 26.880.01.

У **першому розділі** на підставі огляду літературних джерел здійснено аналіз світової та національної статистики впливу карбоновмісного пилу на довкілля і людину, проаналізовано існуючі теорії та практики використання засобів гідравлічного пилоподавлення, спрямованих на поліпшення стану повітря за пиловим чинником. Проведений також аналіз інтернет-пошуку за ключовими словами дисертаційного дослідження.

Огляд літератури з питань викидів пилу, що супроводжує основні процеси видобутку вугілля, показав, що важливою екологічною проблемою, яка супроводжує експлуатацію вугільних шахт є забруднення атмосферного повітря карбоновмісним пилом, який може впливати на якість повітря протягом значного часу і переміщуватися на великі відстані. Аналіз підтвердив шкідливий вплив карбоновмісного пилу на навколишнє середовище: повітря, воду, ґрунт і взагалі на екологічну ситуацію місцевості, де існують операції з видобутку вугілля; та можливість транскордонного забруднення пиловими частками, а також негативний вплив на здоров'я населення.

Легкість дрібних пилових часток дозволяє їм тривалий час залишатися підвішеними і пролітати від сотень до тисяч кілометрів, залежно від вітру та інших метеорологічних умов. Транспортування пилових часток на значну відстань робить характер забруднення транскордонним.

Карбоновмісний пил є чинником збільшення смертності від серцевих та дихальних захворювань, зниження легеневої функції з розвитком обструктивної хвороби дихальних шляхів, збільшення щоденної розповсюдженості симптомів респіраторних захворювань. Вплив на здоров'я пов'язаний як з короткочасною, так і з довгостроковою дією часток пилу.

У XXI столітті захист екологічного та геологічного середовища привертає все більше уваги у галузі видобутку з метою реалізації стратегії сталого розвитку ООН. Інтеграція розвитку мінеральних ресурсів та охорони навколишнього природного середовища стала важливою тенденцією розвитку в міжнародній гірничій галузі. Скорочення викидів забруднюючих речовин до атмосфери є одним із приорітетів екологічної безпеки у вугільній галузі. Запобігання утворенню карбоновмісного пилу та потрапляння його до атмосфери є важливою і невід'ємною частиною видобутку вугілля. Це вимагає пошуку нових способів та засобів знепилення з підвищенням ефективності і надійності на основі подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

На основі аналізу статистичних даних виявлено, що жоден з відомих способів і засобів гідрознепилення не забезпечує зниження запиленості повітря до санітарних норм. Аналіз розглянутих літературних джерел показав, що у теперішній час відсутні теоретичні роботи з питання вивчення механізму захоплення зваженого карбоновмісного пилу диспергованими водними струменями в гірничих виробках і визначення залежності коефіцієнту «захоплення» часток від параметрів водного факелу. Не проводились також теоретичні та експериментальні дослідження з вивчення механіко-електростатичної взаємодії розпиленої води з карбоновмісним пилом. Відсутня фізична модель процесу.

До кінця не вивчений механізм руху аеродисперсних середвищ за мережею гірничих виробок з урахуванням гравітаційних сил під час різноманітних режимів руху повітря. Нема даних про можливість, доцільність

і ефективність одночасного використання грубодиспергованої рідини і туманоутворюючих завіс.

Науково-теоретична і практична важливість викладених проблемних питань, результати аналізу дозволили сформулювати мету та завдання наукових досліджень для зменшення його негативного впливу забруднення карбоновмісним пилом на довкілля.

У **другому розділі** досліджено причини й установлено закономірності пилоутворення в гірничих виробках шахт під час різноманітних технологічних процесів. На основі відомих теоретичних і експериментальних даних взаємодії диспергованої рідини з завислим карбономісним пилом уточнена фізична модель захоплення часток пилу. При цьому уточнено механізм осадження зваженого карбоновмісного пилу на грунт виробки внаслідок дії гравітаційних та електростатичних сил.

Зазвичай вважається, що для ефективного уловлювання завислих часток пилу диспергованою у вентиляційному потоці рідиною необхідно виконання чотирьох послідовних стадій: зближення крапель і часток, поверхневе осадження пилу на краплі, змочування пилу та його занурення в рідину. Однак трьох останніх стадій може й не бути, тим більш, якщо краплі рідини і частки пилу через дольові частки секунди з’являться на ґрунті виробки. Кореляційного зв’язку між змочуваністю пилу й ефективністю гідрознепилення не спостерігається. Тим більше, до цього часу не з’ясована суперечлива роль змочувачів ПАР і доцільність їхнього використання для підвищення ефективності пиловловлення. Виходячи з цього припущено, що суттєвий і визначальний внесок до механізму взаємодії крапель рідини з частками пилу вносять три сили: гідродинамічна – в активній зоні факелу зрошення, гравітаційна й електростатична – за її межами.

Дослідження процесів взаємодії зваженого карбоновмісного пилу і диспергованої рідини у вентиляційному струмені неможливе без розгляду динаміки пилових і диспергованих водних струменів. Такий розгляд дає

можливість визначити швидкості, траєкторії і дальність польоту як часток пилу, так і крапель рідини в виробці, що дозволить установити науково-обґрунтовану ефективність гідрознепилення зрошенням.

З аналізу можливих значень локального числа Рейнольдса зроблено висновок, що воно може змінюватися в широких межах. Таким чином, рух часток пилу і крапель рідини переходить від турбулентного режиму до ламінарного, захоплюючи і перехідний режим. Тому розгляд тільки ламінарного режиму з використанням закона Стокса, як у деяких роботах, може призвести до грубих помилок. Тим більше не можна користуватися законом Стокса для повздовжної швидкості в активній зоні дії факелу, де локальні числа Рейнольдса можуть складати декілька тисяч.

За межами динамічно активної (турбулентної) зони дії факелу рух крапель рідини стане стаціонарним, оскільки їхні швидкості практично зрівнюються зі швидкістю вентиляційного потоку. Відносна абсолютна швидкість руху диспергованої рідини стане рівною швидкості осаду крапель під дією сил гравітації $U = \upsilon_2$. У цьому випадку можна прийняти час, як відношення відстані до швидкості руху повітря: $t = x/u_0$.

Функція концентрації рідини за межами активної зони, що входить до рівняння буде залежати не від часу, а від відстані до активної зони.

Розроблена автором математична модель динаміки пилових і диспергованих водних струменів і результати дослідження їх взаємодії в гравітаційному і електростатичному полях дозволяють науково-обґрунтовано визначити раціональні параметри факела зрошення. Установлено, що в активній зоні дії факела ефективність пиловловлення визначається величиною і напрямом вектору швидкості крапель рідини. За межами активної зони – величиною швидкості падіння крапель у турбулентному режимі і електричними силами, основними з яких є напруженість полів пилового і диспергованого водного струменів. Підсумкову ефективність пиловловлення запропоновано визначити як добуток імовірностей під час дії трьох

незалежних одна від одної сил: динамічної, гравітаційної і електростатичної. Ще більшу достовірність результатів теорії дозволять підтвердити додаткові експериментальні дослідження в даному напрямку.

Для перевірки адекватності теоретичних досліджень і відпрацювання параметрів пилоподавлення за допомогою запропонованих форсунок був проведений комплекс лабораторних досліджень.

У **третьому розділі** наведені висновки отримані за результатами обробки даних проведених експериментів з визначення параметрів водяних завіс на основі нових розпилювачів.

Дослід проводився на унікальній лабораторній установці НДІГС, яка представляє собою модель горизонтальної і похилої гірничих виробок постійного розрізу (80*80 см.), в масштабі 1 до 4 натуральної величини гірничих виробок шахти ім. Бажанова. За допомогою спеціального пристрою – дозатора пилу конструкції НДІГС – попередньо підготовлений на млині вугільний пил із заданою дисперсністю часток подавався до глибини установки, де створювалася його необхідна концентрація шляхом змішування з розрахунковою кількістю повітря. Величина об’ємної концентрації визначалася за допомогою стандартних приборів типу “АЕР-5”. Після відробки режимів запуску пилу почергово включали водяні форсунки і порівнювали ефективність їхнього пилопригнічення зі стандартними розпилювачами.

Експерименти проводились з метою:

- встановлення геометричних розмірів поодинокого водяного факелу в залежності від величини тиску перед форсункою;

- встановлення відстані між форсунками для повного перекриття перетину виробки.

В результаті створена унікальна експериментальна установка для визначення параметрів пилопригнічення за допомогою традиційних та нових засобів. Розроблено програму і методику лабораторних досліджень і шахтних

випробувань та виконано метрологічне тестування експериментального обладнання. Проведено розрахунок і наведено матрицю необхідної кількості експериментів з використанням сучасних методів математичного планування.

У **четвертому розділі** наведені результати лабораторних досліджень та порівняння їх із розрахунковими величинами.

Під час проведення лабораторних досліджень використовувалися різноманітні типи розпилювачів (ФТ-СЛ -1, РТ-СЛ і РТ 1.2-СЛ) з однією форсункою і з декількома типовими форсунками КФ і ПФ. Крім того, змінювався напрямок факелу: вздовж вентиляційного потоку, перпендикулярно до нього і проти потоку.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільший ефект гідрознепилення має місце за умови напрямку факелів за потоком, і найменший ефект, коли факели направлені проти потоку повітря. Це зауваження увійшло до «Рекомендацій з гідрознепилення повітря в забоях і підготовчих виробках для створення умов більш екологічних технологій виробництва для зменшення шкоди довкіллю».

Експериментально встановлено, що ефективність гідрознепилення не прямо пропорційна кількості форсунок.

В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень запропонована зручна для практичних розрахунків залежність ефективності гідрознепилення, що дозволяє враховувати параметри крапель, а також кількість розпилювальних форсунок і їх тип при різноманітних витратах повітря і напряму форсунок. Формула перевірена на серії експериментів. Результати порівняння розрахункових і експериментальних даних задовільно сходяться з даними експериментів. Тому отримана залежність використана для практичних розрахунків.

Наведені також результати натурних випробувань.

У **п’ятому розділі** наведено рекомендації щодо апробування та впровадження результатів досліджень, науково-обґрунтовані рекомендації з

гідрознепилення повітря в забоях та підготовчих виробках для створення умов більш екологічних технологій виробництва і зменшення шкоди довкіллю.

Ключові слова: екологічна безпека, видобування вугілля, карбоновмісний пил, гідрознепилювання, диспергований водний струмінь, водяна завіса, математична модель.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

У виданнях, які входять в науково-метричну базу «SCOPUS»:

1. М.С. Горобей, Ю.Ф. Булгаков, И.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеенко. Розробка математичної моделі аеродинамічної взаємодії розпиленої води з частинками вугільного пилу. Development of mathematical model for aerodynamic interference of sprayed water with coal dust particles. УДК: 622.807 // Розробка родовищ: Зб. наук. пр. / Техн. науки. — 2015. — Т. 9. — С. 443-449. Внесено до електронної бібліотеки періодичних видань НАН України.

У виданнях, які входять в іноземні фахові видання та науково-метричні бази IndexCopernicus, CrossRef, Google Scholar, Science Library, Indexscientific, World Index,РІНЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research.

2. M.Gorobei Results of experimental investigations of the dust control. // Eurasia Waste Management Symposium. 28-30 april 2014. Cultural center Istanbul Turkey. YILDIZ Technical University. Waste management. Volume (1), 533 (1-5)

3. M.Gorobey, Bulgakov Y., Moroz O., The decision of a problem of hamful influence of mines rockforming for people and enviroment. Environment and Mineral Processing, - VŠB – Technical University of Ostrava / Ostrava, Czech Republic : Vysoká škola báňská - Technická univerzita / Technical science./ Part 1.– 2015 / ISBN 978-80-248-3753-6/ pp. 79-85.

4. M.Gorobei Carbon-containing dust: Environmental impacts and human health effects of pollution and measures for prevention/ Environmental Pollution and Climate Change/ March 2020/ Volume 04 / ISSN: 2573-458X, p. 38-39.

5. M.Gorobei Environmental sustainability and pollution prevention: the negative impact of carbon-containing dust on the environment and humans and effective measures for its reducing/ International Journal of Advanced Research (IJAR)/ Tech. science / Vol. 8, Issue 06 June 2020/ ISSN 2320-5407/, p.1489-1496.

У наукових фахових виданнях:

6. М.С.Горобей, Ю.Ф.Булгаков Теоретическое исследование процесса осаждения угольной пыли в гравитационных и электростатических полях" УДК 622.807. //ДонНТУ Вісті Донецького гірничого інституту / Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю/ Технічні науки/ 2(34) 2014, С.210-215.

7. М.С. Горобей, Ю.Ф. Булгаков, Т.В. Костенко, Д.А. Журбинський, Теоретичне обґрунтування електростатичного та гравітаційного впливу на вугільно-повітряні аеросуспензії для профілактики вибухів. УДК 622.817.45 - Збірник наукових праць Львівського державного університету безпеки життєдіяльності «Пожежна безпека» №26, 2015 - С.45-53.

8. М.С.Горобей Теоретичні дослідження динаміки пилових потоків у гірничих виробках і розробка фізичної моделі взаємодії диспергованої рідини з завислим у повітрі карбоновмісним пилом/ Геотехнічна механіка// Технічні науки/ Зб. наук. праць, №141, 2018, с 184-189.

9. М.С.Горобей Теоретичні дослідження процесу осадження карбоновмісного пилу в гравітаційних та електростатичних полях/ Геотехнічна механіка// Технічні науки/ Зб. наук. праць, №143, 2018, с 110-117.

10. М.С.Горобей Екологічні шкоди карбоновмісного пилу та зменшення його негативного впливу на довкілля як складова сталого розвитку гірничовидобувної галузі. /Екологічні науки №3//Науково-практичний журнал/ Технічні науки/ №30, 2020, с.98-103.

ABSTRACT

Gorobey M.S. Reduction of negative impact on the environment of man-made pollution by carbon dust.

Thesis for a Candidate of Science Degree in specialty 21.06.01 - Environmental safety. The State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2020. Specialized Scientific Council D 26.880.01.

The **first section**is an overview and analysis of literary works of national and foreign scientists on the impact of carbon dust on the environment and humans.

The existing theories and practices of using the means of hydraulic dust suppressionwhich are aimed at improving the air condition by the dust factor are analyzed. An analysis of Internet search by thesis keywords was also carried out.

A literature review on dust emissions during major coal mining processes has shown that an important environmental problem that accompanies the operation of coal mines is air pollution with carbon dust, which can affect air quality for a long time and travel long distances.

The analysis confirmed the harmful effects of carbon dust on the environment: air, water, soil and the environmental situation in general, in areas around coal mining operations,and confirmed the possibility of transboundary dust pollution, as well as the negative impact on human health.

Based on the analysis of statistical data, it was found that none of the known methods and means of hydro dedusting do not reduce air dustiness to sanitary standards.

The most obvious negative impact of carbon dust on the environment is the deterioration of air quality.This causes damage to the ecosystem and endangers human health. The lightness of fine dust particles allows them to remain suspended for a long time and fly from hundreds to thousands of kilometers, depending on wind and other weather conditions.Therefore, such industries must take effective mitigation measures.

Breathing air containing a large amount of suspended solids can have negative effects on health.The size of particles is directly linked to their potential for causing health problems. Carbon dust is a factor in increasing mortality from heart and respiratory diseases(small particlescan get deep into the lungs, and some may even get into the bloodstream, creating a risk of stroke and heart attack),factor in reducing pulmonary function in children and adults with the obstructive airways disease progression, increase in the daily prevalence of symptoms of respiratory diseases in children and adults.Health effects are associated with both short-term and long-term effects of dust particles.

In the 21st century, the protection of the ecological and geological environment is attracting increasing attention in the field of mining in order to implement the UN Sustainable Development Strategy.The integration of mineral resources development and environmental protection has become an important development trend in the international mining industry.

Reducing emissions of pollutants into the atmosphere is one of the priorities of environmental safety in the coal industry.Preventing the formation of carbon dust and getting it into the atmosphere is an important and integral part of coal mining.

This requires the search for new ways and means of dedusting with increasing efficiency and reliability on the basis of further theoretical and experimental research.

The analysis of the considered literature sources showed that there are no theoretical works on the question of studying the mechanism of capture of suspended carbon-containing dust by dispersed water jets in mine workings at presentand determining the dependence of the coefficient of "capture" of particles on the parameters of the water flare.Also, no theoretical and experimental studies have been conducted to study the mechanical-electrostatic interaction of water spray with carbon-containing dust.There is still no physical model of the process.

The mechanism of movement of aerodispersedenvironments according to the scheme of mine workings, taking into account gravitational forces at various modes

of air movement, has not been fully studied.There are no data on the possibility, feasibility and effectiveness of the simultaneous use of coarsely dispersed liquid and mist-forming curtains.

The scientific-theoretical and practical importance of the stated problematic issues and the results of the analysis allowed to formulate the goal and tasks of scientific research, the idea of work, which is prevention of negative impact on the environment and human of man-made pollution by carbon-containing dust by exposure to dispersed water jets with certainparameters.

In the **second section**, based on the known theoretical and experimental data on the interaction of the dispersed liquid with suspended carbon dust, the physical model of dust particle capture is refined.

It is generally believed that to effectively capture suspended dust particles using a liquid dispersed in the ventilation flow, it is necessary to perform four successive stages: convergence of droplets and particles, surface deposition of dust on the droplet, wetting of dust and its immersion into the liquid.

However, the last three stages may not occur, especially if liquid droplets and dust particles appear on the production soil in fractions of a second.As shown in [49], there is no correlation between dust wettability and hydrosprayingefficiency.Moreover, the controversial role of surfactant wetters and their feasibility to increase dust collection efficiency has not yet been elucidated.

Based on this, it is assumed that a significant and decisive contribution to the mechanism of interaction of liquid droplets with dust particles is made by three forces: hydrodynamic in the core of the irrigation torch, gravitational and electrostatic - outside it.

The study of the processes of interaction of suspended coal dust and dispersed liquid in the ventilation stream is impossible without considering the dynamics of dust and dispersed water jets.This consideration makes it possible to determine the speed, trajectory and range of both dust particles and liquid droplets in the production, which will establish a scientifically sound efficiency of

hydrodedusting.From the analysis of possible values of the local Reynolds number it follows that it can vary widely. Thus, the movement of dust particles and liquid droplets will go from turbulent to laminar, capturing and transient mode.Therefore, consideration of only the laminar regime using Stokes' law, as in some works, can lead to gross errors. Moreover, Stokes' law cannot be used for longitudinal velocity in the core of the torch, where the local Reynolds numbers, as noted, can be several thousand.Outside the dynamically active (turbulent) zone of the torch, the movement of liquid droplets will become stationary, because their velocities are almost equal to the velocity of the ventilation flow.The relative absolute velocity of the dispersed liquid will be equal to the velocity of the droplet under the action of gravitational forces $U = v_2$.In this case, time can be represented as the ratio of distance to air velocity:$t = x/u_0$.

The function of the concentration of fluid outside the core, which is included in the equation will depend not on time but on the distance to the core.

The mathematical model of the dynamics of dust and dispersed water jets developed by the author and the results of the study of their interaction in the gravitational and electrostatic fields allow to scientifically determine the rational parameters of the irrigation torch. Additional experimental studies in this direction will confirm the validity of the results of the theory.

A set of laboratory experiments was conducted to verify the adequacy of theoretical studies and testing of dust suppression parameters using the proposed nozzles.

The **third section** presents the conclusions obtained from the results of data processing of experiments conducted to determine the parameters of water curtains based on new nozzles.

The experiment was carried out on a unique laboratory installation of the Research Institute of Mining, which is a model of horizontal and inclined mine workings of constant section (80 * 80 cm), on a scale of 1 to 4 natural size of the mine named Bazhanova.With the help of a special device - a dust dispenser, the

design of the Research Institute of Mining, pre-prepared at the mill coal dust with a given dispersion of particles was fed into the depth of the installation. There was created its required concentration by mixing with the calculated amount of air.The volume concentration was determined using standard type instruments.

After testing the dust start modes, water nozzles were switched on alternately and the efficiency of their dust suppression was compared with standard nozzles.

The installation is equipped with the following devices and equipment: psychrometer, temperature sensor, portholes, lamps, fan, manometer, micromanometers, Pitot - Prandtl tube. In addition, there are 3 water nozzles along the section, with the possibility of their simultaneous or alternate switching on with a change in the direction of the water jets (along the air flow, upstream and perpendicular).

The experiments were conducted to:

- setting the geometric dimensions of a single water torch depending on the pressure in front of the nozzle;

- setting the distance between the nozzles to completely cover the cross section of the workpiece.

The **fourth section** presents the results of laboratory tests and their comparison with the calculated values.

Various types of sprays (FT-SL -1, RT-SL and RT 1.2-SL) with one nozzle and with several typical KF and PF nozzles were used in laboratory research.In addition, the direction of the torch changed: along the ventilation flow, perpendicular to it and against the flow.

Analysis of the results showed that the greatest effect of hydrospraying occurs when the torches are directed downstream, and the least effect when the torches are directed against the air flow.

Processing of experimental data showed that the efficiency of hydrodedusting is not directly proportional to the number of nozzles.

As a result of theoretical and experimental studies the formula convenient for practical calculations of efficiency is offered, which is checked on a series of experiments with FT, RT and RTU sprays at various air consumptionand co-directional work of nozzles.The results of comparing the calculated and experimental data agree satisfactorily with the experimental data.Therefore, the obtained dependence can be used for practical calculations.

As a result of the performed theoretical and experimental researches the dependence of efficiency of hydrospraying convenient for practical calculations that allows to consider parameters of drops, and also quantity of spray nozzles and their type is offered.

At the end of the section there are recommendations for testing and implementation of research results, recommendations for reducing air dust with the help of the proposed sprays.

The **fifth section** provides recommendations for testing andimplementation of research results, scientifically sound recommendations for water spray in faces and preparatory workings to create conditions for more environmentally friendly production technologies and reduce environmental damage.

Key words: ecological safety, environment, coal mining, carbon - containing dust, hydrospraying, dispersed water jet, water curtain, mathematical model.

SPISOK NAUKOVIH PRATS

In the publications included in the scientific-metric base «SCOPUS»:

1. M.S.Gorobei, Yu.F.Bukgakov, I.A. Shaikhlislamova, S.A.Alekseenko. Rozrobka matematychnoi modeli aerodynamichnoi vzaiemodii rozpylenoi vody z chastynkamy vuhilnoho pylu. Development of mathematical model for aerodynamic interference of sprayed water with coal dust particles. УДК: 622.807 // Rozrobka rodovyshch: Zb. nauk. pr. / Tekhn. nauky.— 2015. — T. 9. — S. 443-449. Vneseno do elektronnoi biblioteky periodychnykh vydan NAN Ukrainy.

In publications that are part of foreign professional publications and scientific and metric databases IndexCopernicus, CrossRef, Google Scholar,

Science Library, Indexscientific, World Index, ResearchBib etc.

2. M.Gorobei. Results of experimental investigations of the dust control. // Eurasia Waste Management Symposium. 28-30 april 2014. Cultural center Istanbul Turkey. YILDIZ Technical University. Waste management. Volume (1), 533 (1-5)

3. M.Gorobey, Bulgakov Y., Moroz O., Gorobey M. The decision of a problem of hamful influence of mines rockforming for people and enviroment. Environment and Mineral Processing, - VŠB – Technical University of Ostrava / Ostrava, Czech Republic : Vysoká škola báňská - Technická univerzita / Technical science./ Part 1.– 2015 / ISBN 978-80-248-3753-6/ pp. 79-85.

4. M.Gorobei Carbon-containing dust: Environmental impacts and human health effects of pollution and measures for prevention/ Environmental Pollution and Climate Change/ Tech. science/ March 2020/ Vol. 04 / ISSN: 2573-458X, p. 38-39.

5. M.Gorobei Environmental sustainability and pollution prevention: the negative impact of carbon-containing dust on the environment and humans and effective measures for its reducing/ International Journal of Advanced Research (IJAR)/ Tech. science / Vol. 8, Issue 06 June 2020/ ISSN 2320-5407/, p.1489-1496.

In scientific professional journals:

6. M.S.Gorobei, Yu.F.Bulhakov Teoretycheskoe yssledovanye protsessa osazhdenyia uholnoi pыly v hravytatsyonnыkh y эlektrostatycheskykh poliakh" UDK 622.807. //DonNTU Visti Donetskoho hirnychoho instytutu / Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal hirnychoho profiliu/ Tekhnichni nauky/ 2(34) 2014, S.210-215.

7. M.S. Gorobei, Yu.F. Bulhakov, T.V. Kostenko, D.A. Zhurbynskyi, Teoretychne obgruntuvannia elektrostatychnoho ta hravitatsiinoho vplyvu na vuhilno-povitriani aerosuspenzii dlia profilaktyky vybukhiv. UDK 622.817.45 - Zbirnyk naukovykh prats Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti «Pozhezhna bezpeka» №26, 2015 - S.45-53.

8. M.S.Gorobei Teoretychni doslidzhennia dynamiky pylovykh potokiv u hirnychykh vyrobkakh i rozrobka fizychnoi modeli vzaiemodii dysperhovanoi

ridyny z zavyslym u povitri karbonovmisnym pylom/ Heotekhnichna mekhanika// Tekhnichni nauky/ Zb. nauk. prats, №141, 2018, s 184-189.

9. M.S.Gorobei Teoretychni doslidzhennia protsesu osadzhennia karbonovmisnoho pylu v hravitatsiinykh ta elektrostatychnykh poliakh/ Heotekhnichna mekhanika// Tekhn. nauky/ Zb. nauk. prats, №143, 2018, s 110-117.

10. M.S.Gorobei Ekolohichni shkody karbonovmisnoho pylu ta zmenshennia yoho nehatyvnoho vplyvu na dovkillia yak skladova staloho rozvytku hirnychovydobuvnoi haluzi. /Ekolohichni nauky №3//Naukovo-praktychnyi zhurnal/ Tekhnichni nauky/ №30, 2020, s.98-103.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 20

ВСТУП 21

РОЗДІЛ 1. РОЗГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ 30

1.1. Аналіз світової та національної статистики впливу карбоновмісного пилу на довкілля і людину. 30

1.2. Карбоновмісний пил як чинник екологічної небезпеки вуглевидобувних регіонів. 35

1.3. Стан наукових досліджень в області пилопригнічення. Аналіз сучасних засобів і методів боротьби з пилом 42

1.4. Аналіз ефективності засобів та методів, що застосовуються для зниження запиленості повітря у вугільних шахтах 50

1.5. Аналіз інтернет-пошуку за ключовими словами дослідження. 59

Висновки до першого розділу 62

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФАКЕЛУ ЗРОШЕННЯ ПІД ЧАС ГІДРОЗНЕПИЛЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ 64

2.1. Розробка методики проведення дисертаційного дослідження зі зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом 64

2.2. Дослідження динаміки пилових потоків у гірничих виробках і розробка фізичної моделі захоплення часток пилу диспергованими водяними струменями 67

2.2.1. Фізична модель взаємодії диспергованої рідини зі зваженим пилом 67

2.2.2. Динаміка пилових диспергованих водних потоків у гірничій виробці 69

2.3. Дослідження параметрів аеродинамічної взаємодії водяних факелів з карбоновмісним пилом 81

2.4. Дослідження впливу гравітаційного і електростатичного поля на ефективність осаду пилу 90

Висновки до другого розділу 96

РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ДОСЛІДІВ З ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПИЛОПРИГНІЧЕННЯ НА ЛАБОРАТОРНІЙ УСТАНОВЦІ І ПОЛІГОНІ НДІГС 99

3.1. Опис лабораторної установки і обладнання 99
3.2. Методика планування і проведення лабораторних випробувань із визначення ефективності запропонованих засобів пилопригнічення..... 103
3.3. Експериментальне відпрацювання параметрів розпилювальної системи на полігоні НДІГС 106
3.4. Умови проведення експериментів на водомірному щиті 110
3.5. Методика обробки дослідних даних..... 112
Висновки до третього розділу 114
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЛАБОРАТОРНІЙ УСТАНОВЦІ В УМОВАХ ШАХТ 115
4.1 Результати лабораторних досліджень і порівняння їх із розрахунковими величинами 115
4.2. Результати шахтних випробувань..... 120
Висновки до четвертого розділу 124
РОЗДІЛ 5 НАУКОВО-ОБҐРУНТОВАНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ГІДРОЗНЕПИЛЕННЯ ПОВІТРЯ В ЗАБОЯХ ТА ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБКАХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ УМОВ БІЛЬШ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА І ЗМЕНШЕННЯ ШКОДИ ДОВКІЛЛЮ.. 125
5.1. Загальні положення 126
5.2. Засоби і технологічні схеми пилопригнічення 127
ВИСНОВКИ..... 135
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 139
ДОДАТКИ..... 154

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Поняття	**Пояснення**
ДВНЗ	Державний вищий навчальний заклад
НДР	Науково-дослідна робота
НПС	Навколишнє природне середовище
ПНО	Потенційно небезпечні об’єкти
ГДК	Гранично допустимі концентрації
ЗР	Забруднюючі речовини
СЗЗ	Санітарно-захисна зона
ПАР	Поверхнево-активні речовини
ККД	Коефіцієнт корисної дії
ПОТ	Природоохоронні технології
ЕБВШ	Екологічна безпека вугільних шахт
ТН	Техногенне навантаження
НДІГС	Науково-дослідний інститут гірничої справи
МакНДІ	Макіївський науково-дослідний інститут
ВЗША	Вимірювач запиленості шахтної атмосфери
АЕРА	Автоматичний ежекторний аспіратор
ЗПЕН	Зони підвищеної екологічної небезпеки

ВСТУП

Актуальність теми. Карбоновмісний пил, як один з головних негативних екологічних чинників, утворюється у вугільних шахтах і надходить у повітря під час усіх бурових робіт, процесів відбивання і накидання, під час операцій з механічного та самопливного транспортування вугілля та продуктів вуглезбагачення. Кількість пилових часток у повітрі може досягати більше 35 тис/см³. Концентрація пилу під час роботи прохідного комбайна сягає сотень мг/м³. Вугільні частки також утворюються під час підривання, дроблення, грохочення, пересипання, та подрібнення що пояснюється крихкістю самого вугілля.

Забруднення довкілля карбоновмісним пилом спричиняє майже 1 мільйон смертей щорічно у всьому світі. Вплив часток пилу на здоров'я людини та на екосистеми має як короткочасну, так і довгострокову дію. Карбоновмісний пил небезпечний як транспортер в організм людини і тварин шкідливих та отруйних речовин, які можуть осідати на тонкодисперсних вугільних частках.

Карбоновмісний пил є основним транскордонним екологічним забруднювачем що переноситься на значні відстані. Викинутий через вентиляційні системи шахт грубодисперсний пил інтенсивно осідає в межах санітарно-захисних зон (СЗЗ) шахт. А тонкодисперсний пил виноситься за їх межі, забруднюючи довкілля на великі відстані від вугільної шахти.

Забруднення довкілля та зміна його екологічних параметрів у всіх геосферах мають повільний, накопичувальний ефект негативних наслідків, які виявляються через багато десятиліть. Карбоновмісний пил також може потрапити до водних середовищ, що впливає на якість води і може пошкоджувати флору та фауну через зменшення кількості кисню.

Поліпшення якості атмосферного повітря, повинно вирішуватися шляхом удосконалення існуючих та впровадження ефективніших технологій видобутку вугілля. Екологічна небезпека викидів карбоновмісного пилу

зумовлює необхідність проведення заходів щодо знепилювання шахтних вентиляційних потоків і зниження викидів пилу до атмосфери.

Дослідження вітчизняних та закордонних фахівців техногенних екологічних загроз від розповсюдження та накопичення карбоновмісного пилу в основних об'єктах та екосистемах навколо вугільних шахт (Б.А. Грядущий, Ю.Ф.Булгаков, В.Б. Гого, А. Б. Качинський, Є. О. Яковлєв, О. М. Трофимчук, О. І. Лисенко, С. М. Чумаченко, С. П. Іванюта, П. М. Петрухін та А. Н. Кульбачний, С. Ю. Єрохін, В.К. Костенко, О. А. Улицький, R.H. Boer, J. Kirkaldy, D. Laurence, Jiuping Xu, Wenbing Gu, Yi Tan, W.S. Liu, C. Pettit, W. Pulle та ін.) свідчать про те, що боротьба з карбоновмісним пилом є складною науково-практично задачею. При цьому різними авторами були розроблені способи і технічні засоби,але жоден з них не забезпечує зниження запиленості повітря до санітарних норм. Досі до кінця не зрозуміла роль динамічного змочування вугільного пилу, а тому механізм гідрознепилення повітря зрошенням залишається недостатньо розкритим. При цьому варто зазначити, що дослідження процесів взаємодії зваженого вугільного пилу та диспергованої рідини у вентиляційному потоці неможливе без вивчення динаміки пилових та диспергованих водних потоків. Такий підхід дає можливість визначити швидкість, траєкторію, дальність польоту, як часток пилу, так і крапель рідини у виробці, що дозволить встановити науково-обґрунтовані параметри гідрознепилення за допомогою зрошення водою.

Отже, розкриття особливостей впливу головних чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях пилопригнічення з метою запобігання забруднення ним довкілля є актуальною проблемою, вирішення якої є передумовою науково-технічного прогресу у сфері екологічної безпеки та сприятиме більш ефективній та екологічно безпечній експлуатації вугільних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Цю дисертаційну роботу відповідно до головних напрямків наукових досліджень ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за «Програмою науково-технічного розвитку Донецької області на період до 2020» №195/16 від 12 травня 2015р., а також в рамках НДР «Високоефективне обладнання при видобутку та переробці корисних копалин» (номер держреєстрації Д 9-12), НДР «Визначення впливу місця видалення відходів (зберігання залишків) ТОВ «Євро-Реконструкція» на забруднення атмосферного повітря, ґрунту, поверхневих та підземних вод, НДР «Проведення експериментальних робіт із знепилювання шлаконакопичувача» (номер держреєстрації 0118U001430) від травня 2018. А також у відповідності з стратегією сталого розвитку «Україна – 2020» від 12 січня 2015 року № 5/2015 та з Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

Основні положення дисертації використовувалися при виконанні господарсько-договірних робіт на Державному підприємстві «Мирноградвугілля» відокремлених підрозділах «Шахта 5/6», «Шахта Капітальна»; та «Плісецький гранітний кар'єр».

Ідея роботи. Запобігання негативного впливу на довкілля й людину техногенного забруднення карбоновмісним пилом шляхом діяння на нього диспергованими водними струменями з визначеними параметрами.

Мета роботи. Розкрити особливості впливу головних чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні **задачі**:

- проаналізувати світову та національну статистики техногенного забруднення повітря карбоновмісним пилом та його негативного впливу на довкілля та здоров'я людей, а також проаналізовати сучасний стан способів і

технічних засобів гідрознепилення та виявити шляхи зменшення його негативного впливу на довкілля;

- визначити та обґрунтувати методологію, методи, та методики досліджень;

- дослідити: механізм захоплення зваженого карбоновмісного пилу диспергованими водними струменями в замкнених і напівзамкнених об’ємах і визначити залежність коефіцієнта «захоплення» часток від параметрів водяного факелу; механіко-електростатичну взаємодію розпиленої води з карбоновмісним пилом і розробити фізичну модель процесу;механізм руху аеродисперсних середовищ в замкнених і напівзамкнених об’ємах з урахуванням гравітаційних сил під час різних режимів руху повітря; можливість і доцільність комплексного використання грубо диспергованої рідини та для туманоутворюючих завіс;

- для підвищення рівня екологічної безпеки розробити рекомендації з гідрознепилення повітря в забоях та підготовчих виробках для створення умов більш екологічних технологій виробництва і зменшення шкоди довкіллю та впровадити результати дослідження на підприємствах підвищеної шкідливості за пиловим чинником.

Об’єкт дослідження: ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля.

Предмет дослідження: вплив чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися сучасні методи наукових досліджень: аналіз – для узагальнення сучасних науково-технічних досліджень щодо запобігання забруднення довкілля у результаті потрапляння карбоновмістного вугільного

пилу з вугільних шахт у довкілля; теоретичні дослідження – для вивчення процесів взаємодії факелів диспергованої води з пиловими струменями; лабораторні дослідження – для визначення параметрів аерозольно-водяних завіс; експериментальні дослідження – для вимірювань параметрів гідрознепилення у аеродинамічній трубі; розрахунковий метод – для визначення імовірності пилолутворення; математичне планування – для побудови математичної моделі на основі використання Д-оптимального плану другого ступеню; графо-аналітичний метод.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розкритті особливостей впливу головних чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля, розробці математичної моделі динаміки взаємодії пилових і диспергованих водяних потоків в гравітаційному й електростатичному полях, що відрізняються обліком сумарного лінійного та квадратичного супротиву руху крапель під час турбулентного, проміжного й ламінарного режимів руху повітря. При цьому:

Уперше:

- встановлено, що в активній зоні за рахунок перекриття всього розрізу виробки можна знизити концентрацію пилу на 50 – 80%, а за межами розрізу — на 40 – 60%,а за рахунок електростатичних сил концентрацію пилу можна знизити на 80 – 90%.

- встановлено, що в активній зоні дії факела ефективність пиловловлення визначається величиною і напрямком вектору швидкості крапель рідини, а за межами активної зони – величиною швидкості падіння крапель у турбулентному режимі й електростатичними силами, основна з яких – напруженість полів пилового й диспергованого водного потоку;

- встановлено, що в активній зоні факела доцільно використовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони установлювати додатково

туманоутворюючу завісу в 5 – 10 м від першого факелу для досягнення максимальної ефективності гідрознепилення;

Удосконалено

підхід щодо практичних розрахунків ефективності гідрознепилення за допомогою запропонованої в роботі нової формули;

Набуло подальшого розвитку

комплексне теоретичне уявлення про механіко-електростатичну взаємодію диспергованої рідини з завислим у повітрі карбоновмісним пилом.

Практичне значення отриманих в роботі результатів (технічна новизна) полягає в наступному:

- результати дисертаційної роботи увійшли до «Рекомендацій з гідрознепилення повітря для підвищення рівня екологічної безпеки», які апробовувались науково-впроваджувальною фірмою «Геотехнологія» та використовувались у виробничій діяльності на Державному підприємстві «Мирноградвугілля» відокремленому підрозділі «Шахта 5/6», «Шахта Капітальна», та в ТОВ «Плисецький гранітний кар'єр»;

- матеріали теоретичних і експериментальних досліджень успішно використовуються у науково-педагогічній роботі кафедр природоохоронної діяльності та охорони праці, а також були впроваджені у навчальний процес підготовки фахівців з екологічних і гірничих спеціальностей при викладанні курсу лекцій, під час лабораторних та практичних занять за дисциплінами «Екологічна безпека», «Техніка екологічно чистих та енергозберігаючих технологій», «Охорона праці в галузі» у Донецькому національному технічному університеті МОН України; у навчальному процесі кафедри екологічної безпеки й кафедри екології та екологічного контролю Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;

- створена унікальна експериментальна установка з визначення параметрів пилопригнічення за допомогою традиційних та нових засобів пилопригнічення;

- виконаний розрахунок і представлена матриця необхідної кількості експериментів з використанням сучасних методів математичного планування;

- проведені натурні випробування на шахтах Донбасу показали високу ефективність запропонованих форсунок та підтвердили доцільність їхнього використання;

- розроблено рекомендації з гідрознепилення повітря в забоях та підготовчих виробках для створення умов більш екологічних технологій виробництва для зменшення шкоди довкіллю.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень забезпечується логічною відповідністю поставлених задач обраній методології та методикам досліджень; використанням сучасних методів теоретичного аналізу; проведенням експериментальних досліджень з використанням апробованих методик і сучасного сертифікованого обладнання; застосуванням класичних положень теорії аерології аеродисперсних середовищ, гідравліки; задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень; публікаціями у наукометричних, вітчизняних та закордонних фахових виданнях, а також представлення їх на наукових форумах та конференціях.

Особистий внесок автора полягає в аналізі стану проблеми, у формуванні та розробленні ідеї, мети і теми дисертації, теоретичному обґрунтуванні напрямків досліджень, самостійному аналізі літературних джерел з питань боротьби з карбоновмісним пилом, та способах і методах знепилення за рахунок зрошення водою, визначенні мети та постановці задач досліджень, розробленні плану виконання досліджень, теоретичному обґрунтуванні та експериментальному дослідженні механізму гідрознепилення з урахуванням впливу електростатичних і гравітаційних полів на інтенсивність процесу осаду пилу, в плануванні та математичній обробці результатів лабораторних і шахтних досліджень. У публікаціях зі співавторами основні ідеї належать здобувачеві. Головні результати теоретичних та експериментальних досліджень, представлених у

дисертаційній роботі, наведено у наукових працях, поданих у списку робіт: отримані автором самостійно, опубліковані одноосібно [2,4,5,8-11,13].
Особисто автором у роботах, опублікованих у співавторстві, було:

- проведено аналіз сучасних екологічних проблем викликаних внаслідок забруднення довкілля карбоновмістним пилом від вугільних шахт [3,14,15];
- виконано огляд літератури з метою дослідження небезпечних факторів впливу на організм людини та на довкілля [14,15];
- розроблено та удосконалено сучасні методи та технології пилеподавлювання шляхом застосування водяних аерозольно-крапельних факелів [1,7,12];
- удосконалено та використано в експериментах методику та геометрію впливу водяних аерозольно-крапельних завіс на потоки карбоновмісного пилу [6].

Апробація результатів дисертації. Головні положення, наукові результати теоретичних та експериментальних досліджень за напрямком дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на наукових, науково-практичних конференціях і конгресах, а саме: 2-й Міжнародно-практичний форум «Технології та процеси в гірничій справі та будівництві» 9 – 11 квітня 2014 р. у ДонНТУ; Науково-технічна конференція для молодих вчених «Young Scientists' Researches and achievements in science» 17 квітня 2014 р. в ДонНТУ; Міжнародна конференція «Eurasia Waste Management Symposium» 28-30 квітня 2014 р. в Yildiz Technical University, Стамбул, Туреччина; Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» 9 – 10 жовтня 2015 р. в Черкаському інституті пожежної безпеки імені героїв Чорнобиля, м. Черкаси; Міжнародна конфернція «19 th Conference on Enviroment and Mineral Processing», 29-31 травня 2015 р. у Technical University of Ostrava, Острава, Чехія; World Water-Tech Innovation Summit, 20 – 21 лютого 2018 р., Лондон, Велика Британія; ІІІ Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна

безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» 14 вересня 2018 р. у ЛДУБЖД, м. Львів; XV Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека**:** проблеми і шляхи вирішення» 9 – 13 вересня 2019 р., в УкрНДІЕП, м. Харків; VI Міжнародна науково-практична конференція «Безпека життєдіяльності на транспорті і виробництві – освіта, наука, практика», 11 – 14 вересня 2019 р. в Херсонській державній морській академії, м. Херсон; XIII Міжнарода науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» 20-22 вересня 2019 р. у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв; XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки», 02-04 жовтня 2019 р. у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського, м. Кременчук; 7-а Міжнародна наукова конференція «Pollutioncontrol & sustainable environment», 2-3 березня 2020, м. Рим, Італія.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 15 наукових праць, з яких 1 стаття у наукометричній базі SCOPUS, 4 статті – у виданнях, що входять в іноземні фахові видання та наукометричні бази, 5 статей – у наукових фахових виданнях, рекомендованих ВАК України, та 5 доповідей у збірниках тез конференцій та форумів, у тому числі міжнародних.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, пяти розділів, висновків та списку використаних джерел. Матеріали дисертації викладено на 163 сторінках комп’ютерного тексту, з яких основний текст – на 134 сторінках. Роботу проілюстровано 38 рисунками, 22 таблицями. Перелік використаних джерел налічує 171 найменування.

РОЗДІЛ 1. РОЗГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ, СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз світової та національної статистики впливу карбоновмісного пилу на довкілля і людину.

Атмосфера відіграє головну роль у глобальному, регіональному та локальному перенесенні забруднювальних речовин (ЗР) та забрудненні природного середовища. Зростаючі антропогенні навантаження послаблюють природний процес самоочищення атмосфери, що призводить до накопичення шкідливих домішок, які зумовлюють її забруднення. Основними забруднювачами атмосферного повітря є стаціонарні джерела, до яких належать промислові підприємства, теплові електростанції та котельні [1]. За даними Державної служби статистики України [2] від цих джерел у повітряний простір України щорічно надходить велика частина ЗР, які зумовлюють стійке забруднення атмосферного повітря (рис.1.1). Найпоширенішими в атмосферному повітрі є основні забруднювальні речовини – завислі тверді частки, діоксид сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x).

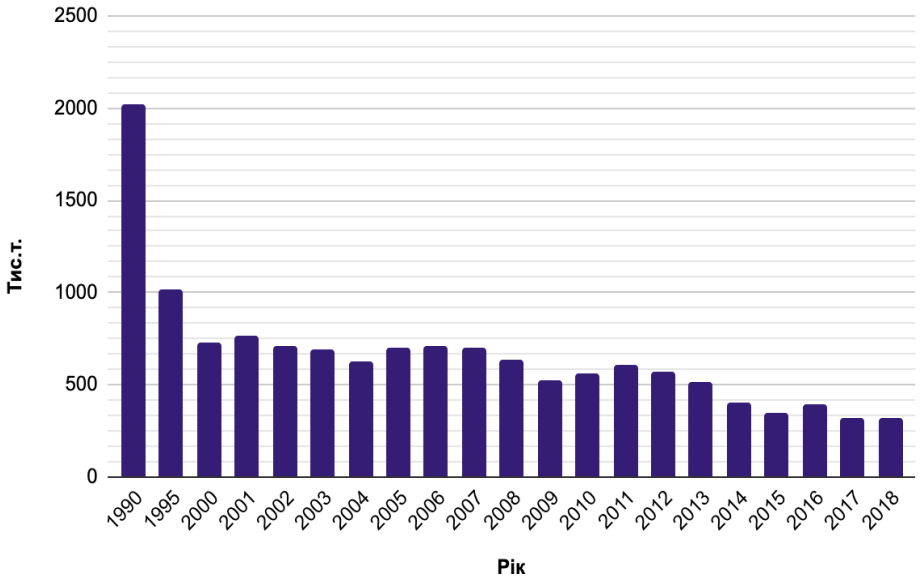


Рисунок 1.1. – Динаміка обсягу викидів забруднюючих твердих часток у атмосферне повітря у 1990-2018 р.р.

За даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища [3,4,5], сьогодні в Україні, незважаючи на певний спад виробництва, стабільно високим залишається забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових центрів ЗР. Основними забруднювачами довкілля України викидами твердих часток у продовж багатьох років є підприємства переробної та добувної промисловості (32,9% та 17,2 % шкідливих викидів) та підприємства-виробники електроенергії та газу (41,1 %), про що свідчать дані рис.1.2.

Рисунок 1.2. – Розподілення обсягів викидів ЗР у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2015 році за галузями промисловості

Добувна промисловість посідає особливе місце серед галузей, що сприяють пиловому забрудненню атмосфери [6-15]. Техногенне навантаження на навколишнє природне середовище (НПС) внаслідок інтенсивного видобутку вугілля нерозривно пов’язане з екологічними змінами, впливом на природу й здоров’я людей. На сьогодні місця інтенсивного розвитку вугільної промисловості класифікуються як зони підвищеної екологічної небезпеки (ЗПЕН), зумовлені наявністю на цих територіях потенційно небезпечних об’єктів (ПНО) [16].

Серед регіонів країни найбільшого антропогенного навантаження від стаціонарних джерел забруднення (понад 100 тис.т. шкідливих викидів) зазнає атмосфера Дніпропетровської, Донецької, Івано-Франківської областей. Незважаючи на те, у цих областях знаходиться лише третина підприємств, їх вплив на стан довкілля країни є визначальним, оскільки від них надходить у повітря найбільша частка ЗР (рис. 1.3).

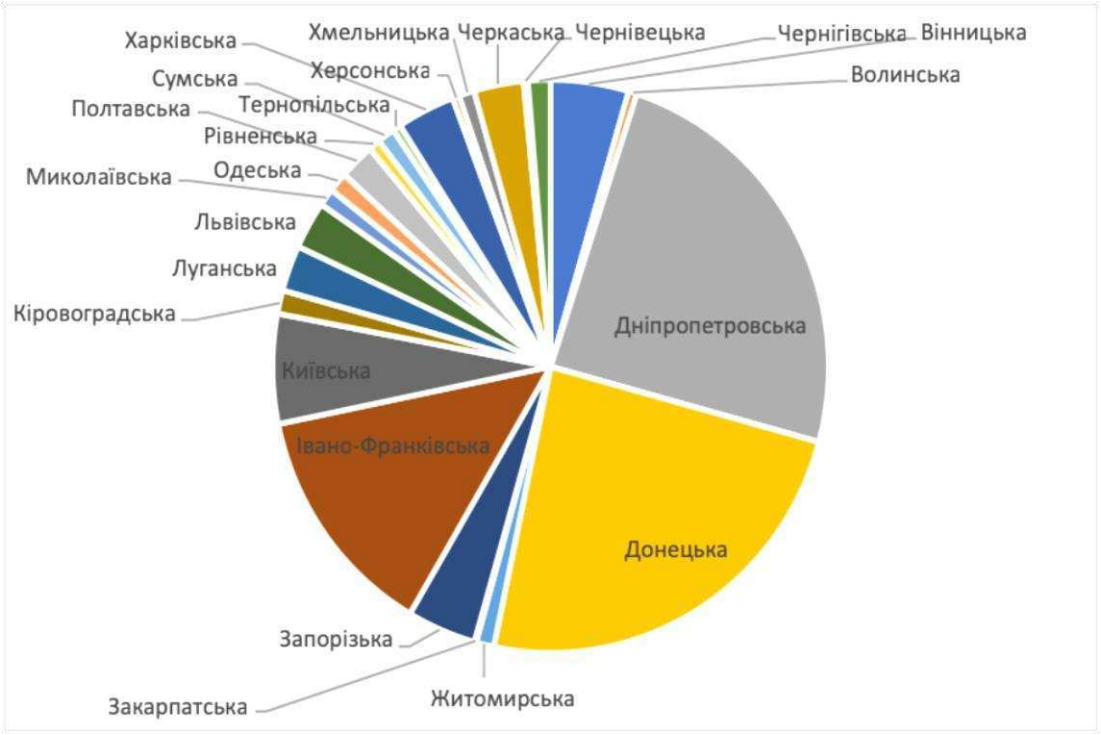


Рисунок 1.3. – Викиди речовин у вигляді суспендованих твердих часток у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення за регіонами у 2018р.

Велика концентрація підприємств на порівняно невеликих територіях зумовлює значний вплив підприємств вугільної галузі на НПС (особливо у Донбасі) і спричиняє порушення його екологічної рівноваги, який виявляться в поєднанні таких явищ, як виснаження та забруднення підземних і поверхневих вод, а на окремих, підроблених гірничими роботами, ділянках затоплення і заболочування прилеглих до підприємств територій, засолення ґрунтів, вилучення земельних площ зі сфери сільськогосподарського використання, деформації земної поверхні, забруднення атмосфери

пилогазовими викидами поверхневих комплексів шахт та збагачувальних фабрик тощо.

Одним з основних чинників негативного впливу на довкілля є карбоновмісний пил, який утворюється у вугільних шахтах і надходить у повітря під час усіх процесів вуглевидобутку: бурових робіт, процесів відбивання і накидання, при операціях з механічного та самопливного транспортування вугілля та продуктів вуглезбагачення, що пояснюється крихкістю самого вугілля. Екологічну загрозу становлять також породні відвали шахт. У теперішній час встановлено, що з 1 га поверхні терикону вітром здувається до 10 тонн пилу на рік (рис. 1.4).

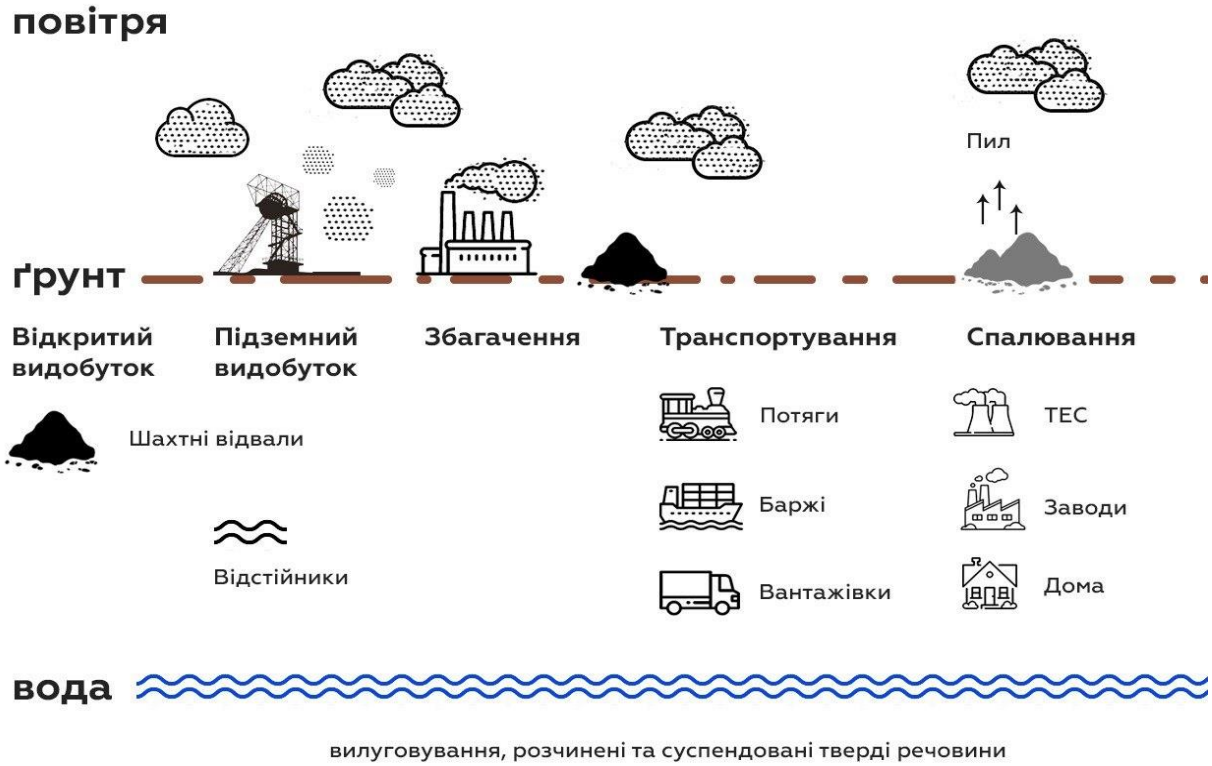


Рисунок 1.4. – Екологічні наслідки впливу карбоновмісного пилу на довкілля під час видобутку, транспортування, зберігання та переробки вугілля.

За оцінками дослідників [17-19] повітряне середовище поверхневого комплексу шахти кожну хвилину, в середньому, наповнюється відпрацьованим вентиляційним повітрям в обсязі, приблизно, 200 тис. м^3 з концентрацією пилу, приблизно, (5-7) мг/м^3, що протягом доби становить викид 1,5 тонни пилу (рис. 1.5).

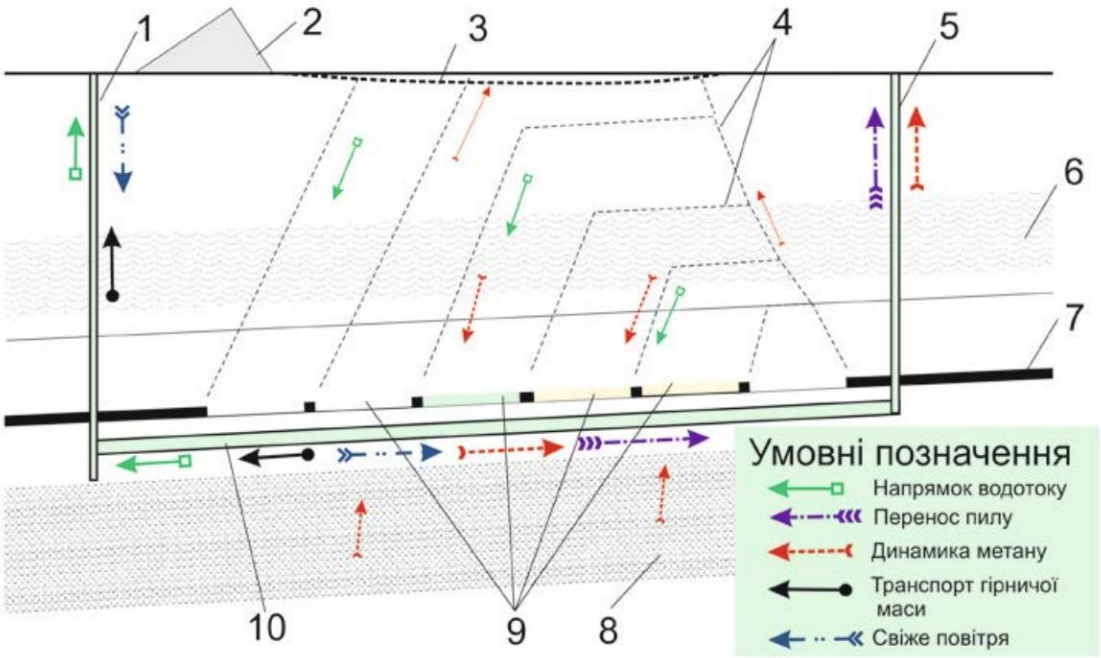


Рисунок 1.5. – Схема технологічних процесів виїмки вугілля шахтним способом (за В.К.Костенко) [17]: 1 – стовбур для подавання повітря; 2 – відвал; 3 – мульда; 4 – плоскості розриву цільності порід; 5 – вентиляційний стовбур; 6 – метанорясні пісковики у покрівлі пласта; 7 – вугільний пласт; 8 – метанорясні пісковики у підошві пласта; 9 - відроблені простори лав; 10 – магістральна виробка

Частки розміром більше 10 мкм осідають в нерухомому повітрі зі зростаючою швидкістю і не дифундують, розміром 0,25-10 мкм осідають в повітрі з постійною швидкістю, розміром менше 0,25 мкм знаходяться в безперервному броунівському русі і енергійно дифундують[17, 74]. Основну роль у транскордонному екологічному забрудненні практично завжди відіграють викиди карбоновмісного пилу в атмосферу. Саме при цьому найчастіше реалізуються можливості далекого переносу ЗР. Викинутий через вентиляційні системи шахт грубодисперсний пил інтенсивно осідає в межах СЗЗ шахт. Тонкодисперсний пил виноситься за їх межі, забруднюючи довкілля на відстані до 3500 м від вугільної шахти. Причому у складі пилу в повітря можуть потрапляти фітотоксичні компоненти. Таким чином, підземні гірничі розробки можуть також призводити до забруднення поверхні ґрунту, рослинності і підземних вод [17].

На рисунку 1.6 наведені дані про викиди в атмосферне повітря карбоновмісного пилу вугільними шахтами України за 2009-2014 роки.

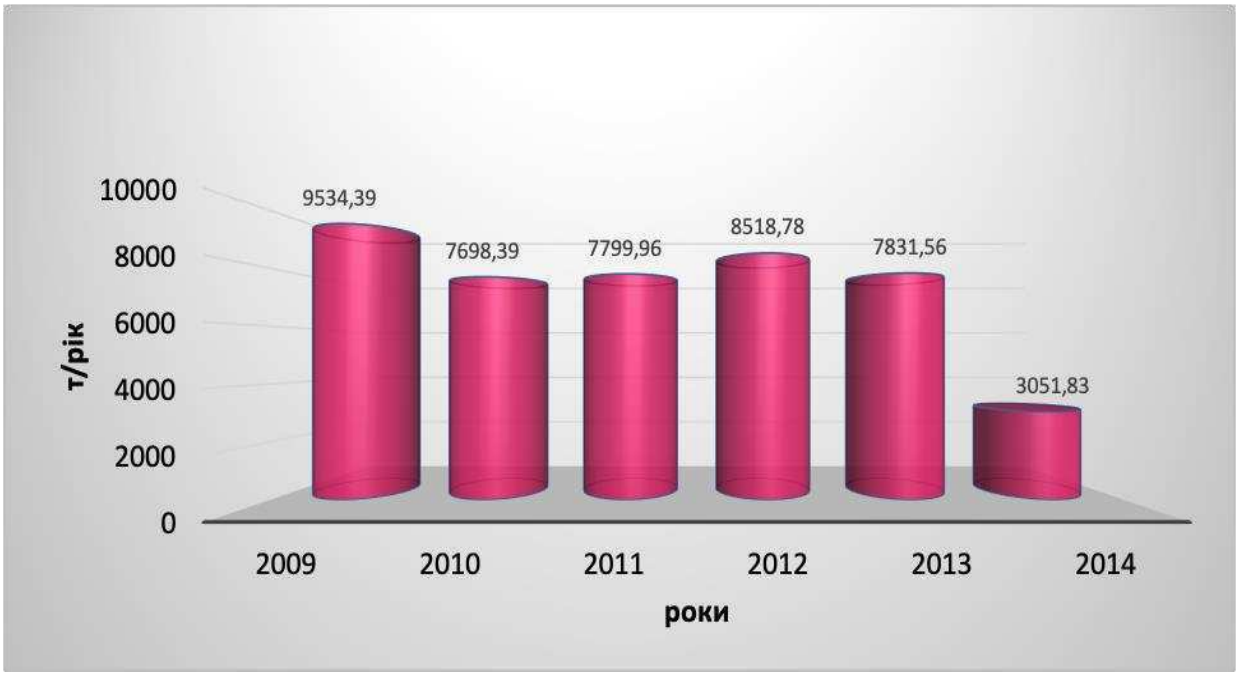


Рисунок 1.6. – Викиди в атмосферне повітря карбоновмісного пилу вугільними шахтами України за 2009-2014 роки*

** – з 2014 року без урахування тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.*

Питання забруднення повітря в Україні є важливою екологічною проблемою, оскільки основна частина населення проживає в районах, де концентрація ЗР регулярно перевищує гранично допустимі рівні. За даними Інституту екологічної гігієни та токсикології України, щороку на одну людину припадає понад 95 кг шкідливих речовин. У зв'язку з діяльністю вугледобувних підприємств екологічне навантаження на біосферу регіону є найбільшим в Європі [20].

1.2. Карбоновмісний пил як чинник екологічної небезпеки вуглевидобувних регіонів

Екологічна безпека вуглевидобувних регіонів розглянута як модель взаємозв’язку складових довкілля і людини. Система екологічної безпеки має захищати людину від екологічних загроз, що спричинені антропогенними

чинниками, у даному випадку – це забруднення НПС карбоновмісним пилом внаслідок видобутку вугілля. Природа довкілля, у контексті екологічної безпеки, має значення розвитку системи захисту людини від техногенних чинників негативного впливу за допомогою управлінських і технічних рішень у сфері виробничої та природоохоронної діяльності.

Концепція збалансованого розвитку передбачає гармонійне поєднання складових розвитку суспільства (економічних, соціальних, екологічних), що відбувається в умовах невиснажливого природокористування та екологічно безпечного середовища існування людини [21]. Це стосується також і вуглевидобувних регіонів, де техногенне навантаження на довкілля та екологічні проблеми виражені найбільш гостро.

Для ефективного й безпечного функціонування системи людина – виробниче середовище шахт – довкілля необхідно забезпечити можливість керування пиловим становищем за допомогою спеціальних засобів. На думку В.В.Суханова таке керування повинно бути системним, тобто здійснюватися шляхом об'єднання окремих заходів в єдину систему взаємодії на всіх рівнях й етапах технологічного процесу. Система, яка включає керування зовнішнім середовищем і керування організмом людини, може бути представлена у виді комплексу інженерно-технічних, медико-біологічних та організаційно-технічних засобів. В покращенні стану навколишнього середовища за пиловим чинником головними методами управліньскої взаємодії, які треба здійснити в першу чергу, є засоби технічного характеру: створення відповідних техніки й технології [22].

Попередження несприятливих впливів забруднювачів у процесі вуглевидобування (техногенного) (у даному випадку це карбоновмісний пил) та обґрунтування технологічних рішень зі зменшення цього ризику – є складною науково-прикладною задачею. Зазвичай оцінка ризику для здоров'я населення проводиться за Методичними рекомендаціями Міністерства охорони здоров'я «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення

атмосферного повітря» [23]. Вона визначається шляхом порівняння фактичних рівнів експозиції з референтними (безпечними рівнями) впливу, а також визначенням коефіцієнту небезпеки HQ. Коефіцієнти небезпеки HQ визначаються за рівнянням 1.1:

$$HQ = AC/RfC, \quad (1.1)$$

де HQ – коефіцієнт небезпеки, AC – середня концентрація забруднювача, мг/м^3, RfC – референтна концентрація, мг/м^3 [24].

Оцінка забруднення повітря проводиться шляхом порівняння кратності перевищення показників забруднення (ПЗ) з їх нормативним значенням (ГДЗ) згідно «Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць…» [24] за диференціацією рівнів забруднення та ступенів їх небезпечності згідно з таблицею 1.1.

Таблиця 1.1.

Шкала оцінки рівнів та ступенів небезпечності забруднення атмосферного повітря

Рівень забруднення	**Ступінь небезпечності**	**Кратність перевищення ГДЗ**	**Відсоток випадків перевищення ГДЗ**
Допустимий	Безпечний	< 1	0
Недопустимий	Слабко небезпечний	> 1 – 2	> 0 – 4
Недопустимий	Помірно небезпечний	> 2 – 4,4	> 4 – 10
Недопустимий	Небезпечний	> 4,4 – 8	> 10 – 25
Недопустимий	Дуже небезпечний	> 8	> 25

За отриманими даними кратності відхилення вмісту пилу від його референтної концентрації встановлюють фактичний рівень забруднення та ступінь екологічної небезпеки джерела виділення пилу в обраних точках території. Наприклад, за кратністю перевищення концентрації над рівнем ГДК оцінюють рівні екологічного ризику на межі СЗЗ шахт до та після

впровадження заходу зі зменшення пиловиділення до атмосферного повітря [25,26].

Останні дослідження [27] показали, що забруднення карбоновмісним пилом спричиняє майже 1 мільйон смертей щорічно у всьому світі.

За результатами аналізу та узагальнення накопичених фактичних даних матеріалів [28-35] та на основі власних досліджень виявлено наслідки проявів екологічної небезпеки карбоновмісного пилу в межах місцевостей функціонування вугільних шахт. Встановлено шкідливий вплив карбоновмісного пилу на НПС: повітря, воду, ґрунт і взагалі на екологічну ситуацію місцевості, де існують операції з видобутку вугілля. Забруднення атмосферного повітря та зміна екологічних параметрів мають повільний, накопичувальний ефект негативних наслідків, що виявляється через багато десятиліть.

Карбоновмісний пил небезпечний як сам по собі, так і як транспортер в організм людини і тварин шкідливих і отруйних речовин, які осідають на тонкодисперсних частках вугілля (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

Наслідки проявів екологічної небезпеки карбоновмісного пилу в межах місцевості, де існують операції з видобутку вугілля

ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ І ДЖЕРЕЛА	ТИПИ І/АБО ШЛЯХИ	ПОТЕНЦІЙНА ДІЯ
Середовище: Повітря		
Викиди пилу Джерело: вітрова ерозія відвалів, сховищ, пил машинного відбивання, подрібнення; навантажно-розвантажувальних та транспортних операцій, буріння свердловин; діючі об’єкти та мобільне устаткування, що порушує шар ґрунту	Частинки вугілля і породи	Забруднення повітря Збільшення кількості респіраторних захворювань робітників Збільшення кількості респіраторних захворювань серед населення прилеглих територій

ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ І ДЖЕРЕЛА	ТИПИ І/АБО ШЛЯХИ	ПОТЕНЦІЙНА ДІЯ
Середовище: Ґрунти		
Переніс пилу на ґрунт Джерела: завислий пил з породних відвалів та шахтних стовбурів, місць зберігання вугілля, від збагачення, транспортування, завислий у воді осад; забруднювачі, розчинені в стоках, фільтратах або водах, що відкачуються	Похідні завислі часточки ґрунту і породи, солі, метали і з'єднання	Забруднення ґрунтів Зменшення придатності прилеглих ґрунтів для відновлення рослинності
Середовище: Поверхневі води		
Пиловий осад	Розчинені або захвачені смолисті похідні вугілля, карбоновмісний пил	Негативні наслідки для здоров'я населення, які знаходяться нижче за течією Негативний вплив на водні екосистеми: мутність води, занижений вміст розчиненого кисню в результаті підвищеної біологічної і хімічної потреби в кисні Зменшення комунального водопостачання (деградація в результаті потенційного промислового використання) Втрата водних шляхів (рекреаційна, риболовство) Збільшення витрат на очищення води Підкислення і евтрофікація (заростання водоростями) водних об'єктів.
Середовище: Підземні води		
Дренаж забруднених вод Джерела: Відвали - Поверхневий дренаж Фільтрати відвалів Дренаж земель з порушеним ґрунтовим шаром і дренаж з об'єктів Дренаж ґрунтових вод, що відкачуються з різних геохімічних водоносних шарів, які скидаються на поверхні	Розчинені або захвачені смолисті похідні вугілля, карбоновмісний пил	Негативні наслідки для населення нижче за течією і приймаючих екосистем у зв'язку з підвищеною біологічною і хімічною потребою в кисні Зменшення комунального водопостачання (деградація в результаті потенційного сільськогосподарського або промислового використання) Втрата водних шляхів (наприклад рекреаційна, риболовство) Збільшення витрат на очищення води

Найбільш очевидний вплив на довкілля – це погіршення якості повітря. Це спричиняє порушення екосистеми та загрожує здоров’ю людини. Легкість дрібних пилових часток дозволяє їм тривалий час залишатися завислими і пролітати від сотень до тисяч кілометрів, залежно від вітру та інших метеорологічних умов. Транспортування пилових часток на значну відстань робить характер забруднення транскордонним. Тому вуглевидобувна галузь повинна вживати ефективних заходів щодо пом'якшення екологічних наслідків видобутку.

Вдихання повітря, яке містить велику кількість завислих твердих часток, може мати негативні наслідки. Карбоновмісний пил є чинником збільшення смертності від серцевих та дихальних захворювань (дрібні частки подорожують углиб легенів і переходять у кров, створюючи ризик інсульту та інфаркту), зниження легеневої функції з розвитком обструктивної хвороби дихальних шляхів, збільшення щоденної розповсюдженості симптомів алергічних та респіраторних захворювань. Вплив на здоров'я людини пов'язаний як з короткочасною, так і з довгостроковою дією часток пилу.

Пневмоконіози відрізняються тривалим латентним періодом і часто протікають нерозпізнаними. Супутні їм захворювання (хронічні обструктивні легеневі захворювання, сілікотуберкулез, ракові захворювання) нерідко призводять до постійної втрати працездатності людей та передчасної смерті. Наприклад, у Китаї пневмоконіоз є найпоширенішим професійним захворюванням, на частку якого припадає понад 80% всіх зареєстрованих випадків, причому останнім часом там щорічно реєструється від 10 тис. до 23 тис. нових випадків. В Індії, як показують деякі дослідження, захворюваність на пневмоконіоз шахтарів становить 18,8%. У В'єтнамі на частку пневмоконіозу доводиться 75,7% усіх професійних захворювань, за які працівники отримують допомогу. Дослідження, проведені в Латинській Америці, виявили, що серед шахтарів захворюваність на силікоз становить 37%, а серед шахтарів старше 50 років вона досягає 50%. Епідеміологічні

дослідження в країнах, що розвиваються показують, що від силікозу та інших видів пневмоконіозу можуть страждати від 30 до 50% працівників добувної промисловості та секторів підвищеного ризику. [36]

У XXI столітті захист екологічного та геологічного середовища привертає все більше уваги у галузі видобутку з метою реалізації стратегії сталого розвитку ООН. Інтеграція розвитку мінеральних ресурсів та охорони НПС стала важливою тенденцією розвитку в міжнародній гірничій галузі [37]. Скорочення викидів ЗР в атмосферу є одним із приорітетів екологічної безпеки у вугільній галузі. Запобігання утворенню та потраплянню в атмосферу карбоновмісного пилу є важливою і невід'ємною частиною видобутку вугілля.

Станом на 1 січня 2013 року умови на 80% шахт України не відповідають вимогам санітарних норм в частині запиленості шахтного повітря [38]. Комплексний аналіз системи людина – виробниче середовище шахт, виконаний МакНДІ, показав, що санітарно-гігієнічні умови у шахтах визначаються безліччю параметрів оточуючого середовища, які впливають на функціональний стан і здоров’я працюючих та шкідливі викиди у атмосферне повітря. Основним негативним фактором, який спричиняє шкоду довкіллю та здоров’ю людини у процесі видобутку вугілля, є карбоновмісний пил.

Утворення пиловидних фракцій у вугіллі відбувається в основному в очисній виробці, а найбільш інтенсивний перехід пилу у зважений стан спостерігається на початковій ділянці вуглеспускної печі і в зоні вивантаження вугілля в неї з вибою. Тому доцільним є зменшення шкідливого впливу карбоновмісного пилу на довкілля шляхом локалізації його викидів у місцях пилоутворення методом пилопригнічення із застосуванням розпиленої води. Це вимагає пошуку нових способів та засобів знепилення з підвищенням ефективності на основі подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

Аналіз розглянутих літературних джерел показав, що у теперішній час відсутні теоретичні роботи з питання вивчення механізму захоплення

зваженого карбоновмісного пилу диспергованими водними струменями в гірничих виробках і визначення залежності коефіцієнту «захоплення» часток від параметрів водного факелу. Не проводились також теоретичні та експериментальні дослідження з вивчення механіко-електростатичної взаємодії розпиленої води з карбоновмісним пилом. Відсутня фізична модель процесу. До кінця не вивчений механізм руху аеродисперсних середвищ за мережею гірничих виробок з урахуванням гравітаційних сил під час різноманітних режимів руху повітря. Нема даних про можливість, доцільність і ефективність одночасного використання грубодиспергірованої рідини і туманоутворюючих завіс.

Науково-теоретична і практична важливість викладених проблемних питань, результати аналізу дозволили сформулювати мету та завдання наукових досліджень, які наведено вище.

1.3. Стан наукових досліджень в області пилопригнічення. Аналіз сучасних засобів і методів боротьби з пилом

У теперішній час в Україні дослідження в області боротьби з рудниковим пилом ведуться за наступними напрямками: профілактика пневмоконіозов, запобігання й локалізація вибухів вугільного пилу, запобігання викидів карбоновмісного пилу у навколишнє середовище.

Багаторічні дослідження, проведені Донецьким НДІ гігієни праці та профзахворювань [39], показали, що внаслідок неповної реалізації комплексного знепилення, неефективного використання засобів боротьби з пилом забрудненість повітря в очистних вибоях переліку шахт значно перевищує допустимі рівні. На багатьох шахтах не організована потрібним чином протипилова служба. Відповідно до діючих нормативних документів, виміри концентрації пилу проводяться під час виконання основних виробничих процесів з періодичністю не рідше 1 разу на місяць. Виміри проводяться робітниками дільниці ВТБ, а також респіраторниками ГВГРС.

Кількість пилу, що попадає в легені гірничого робітника визначається, обсягом легеневої вентиляції, залежної від типу й інтенсивності роботи, що виконується, та варіює від 0,015 м^3/хвил. до 0,035 м^3/хвил. [39].

На думку Ф.Х. Зінгера, ускладнення пилового стану в очисних вибоях в перспективі можуть бути зумовлені збільшенням машинного часу роботи і темпів видобутку вугілля, що призводять до збільшення тривалості дії пилу на організм людини. Під час видобутку вугілля з «присічкою» бокових порід на тонких шарах збільшується пневмоконіозонебезпека в очисних вибоях, внаслідок підвищєного вмісту SiO_2 в складі пилу, що утворюється [40].

Рішення зазначеної проблеми можливо тільки шляхом комплексного управління пиловою небезпекою. При цьому найбільш ефективні як організаційні, так і інженерно-технічні методи, що дозволяють знизити дозу пилу [39]. Цим у странах СНД займаються галузеві НДІ й лабораторії.

Зараз в Україні основним способом пилопригнічення під час роботи виїмкових і прохідницьких машин є зрошення, ефективність якого, особливо для тонкодисперсного пилу, порівняно невисока. Існують різноманітні способи, основані на осадженні пилу за допомогою звукових коливань; використання змочувачів різного походження; осадження пилу водою, що розпилюється під високим тиском та ін.

З багатьох причин (недостатність чи відсутність обладнання, складність пристроїв, слабка вивченість питання тощо) указані способи пиловловлення недостатньо ефективні. В результаті спільних досліджень МакНДІ, ІГС ім.Скочинського, Донгіпроуглемашу, Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії були створені зразки зрошувачів з безіскровою підзарядкою рідини для підвищення ефективності пиловловлення. Вугілля Донбасу середнього ступеню метаморфізму, пиловий аерозоль якого має питому напруженість електростатичного поля більше $1\frac{В/м}{мг/м^3}$, рекомендується низьконапірне зрошення (15 – 20 кгс/см^2) з використанням зрошувачів зі збільшеною

електрозарядженістю факелу диспергованої рідини. У випадку вугілля низького ступеню метаморфізму (Д,Г) і високовуглецевого вугілля Донбасу (Т, ПА, А), з метою ефективності пилоподавлення рекомендовано використовувати високонапірне зрошення (50 – 80 кгс/см^2) і зрошувачі, у яких аерозольний факел має підвищену електрозарядженість [41].

Е.Н. Медведєв і А.П. Коренев у 1983 р. під час досліджень у лабораторних і шахтних умовах отримали оптимальні параметри гідрознепилення. Найбільший приріст ефективності зрошення забезпечується при підвищенні питомої витрати рідини до 15 л/т, подальше збільшення витрати призводить до менш суттєвого зниження пилевиділення із зони вивантаження вугілля. Оптимальний тиск рідини склав 0,6 – 1,2 МПа, а додавання змочувача ДБ під час зрошення в кількості 0,1 - 0,5 % не підвищило ефективності знепилення. Встановлено: найбільш суттєве зниження пилоподавлення під час зрошення досягається, за швидкості руху повітряного струменю менш за 3 м/с [42].

Під час перевірки різноманітних способів гідрознепилення в очисних виробках шахт об'єднання «Орджонікідзевугілля» встановлено, гідрознепилення (зрошення, пилоподавлення піною) забезпечує зниження запиленості повітря до рівня близького до межі допустимої концентрації на пластах, які відносять до IV категорії запиленості і нижче. Під час виїмки пластів вище IV категорії гідрознепилення необхідно доповнювати засобами уловлювання пилу [42].

На основі виконаних досліджень були розроблені методи зволоження вугільних пластів шляхом нагнітання до них вологи чи змочуючих розчинів через шпури і свердловини. Раніше, у 1970-1980 рр. на шахтах Росії під час зрошення вугілля в якості поверхнево-активної речовини широко використовували змочувач ДБ (продукт обробки дитретичних бутилфенолів оксидом етилена, рідина жовто-коричневого коліру, концентрація 0,1 - 0,3 % водного розчину). Пізніше в 1997 – 1999 рр. підприємством АТЗТ «Стин» (м. Київ) з участю МакНДІ був розроблений змочувач ПУ (ТУ У 234691.001–

98) для систем пилопригнічення під час виїмки, навантаження, транспортування вугілля, а також під час зрошення вугільного пилу, що відклався. Змочувач ПУ – це суміш аніонактивних і неіногенних поверхнево-активних речовин, однорідна рідина від білого до коричневого коліру, показник концентрації pH водородних іонов від 6 до 10,5 од., вагова частка сухої речовини не менш 20 %, нелетюча. Промислова перевірка змочувача ПУ проводилась у комплексно-механізованій розвантажуючій лаві шару T_3 шахти ім.Засядько. Аналіз показав, що застосування змочувача ПУ дозволяє знизити концентрацію завислого тонкодисперсного пилу в лаві на 30 %, а у конвейєрній виробці – на 44 %. Запиленість повітря в лаві і в 300 м від неї (на вихідному струмені) зменшилась в порівнянні зі зрошенням водою відповідно на 29 и 35 % [43].

В Україні розроблені й інші методи і засоби гідрознепилення, зокрема з параметрами, що автоматично регулюються; апаратура для контролю процесу нагнітання води до пласту. Метод продовжує удосконалюватися й досі: розроблений спосіб зміцнення свердловин шляхом заповнения їх пористим полімером, що дозволить розширити область застосування за рахунок запобігання обвалення гірничих порід у зоні дії свердловини (шпура), а також виключити скупчення рідини у свердловині та прорив її в робочому просторі під час перетину гірничими роботами свердловини. Створений спосіб і засоби контролю зволоження вугілля в глибині масиву [43].

В роботах вчених ДонУГІ, ДонНТУ і Донгіпроуглемаша найбільш широко були представлені дослідження в галузі гідрознепилення виробничих процесів, у першу чергу, механізованої виїмки вугілля і проведенні гірничих виробок. В результаті досліджень були створені оригінальні технології гідрознепилення, які реалізовані в конструкціях різноманітних забійних машин. До найбільш важливих результатів відносяться: створення систем зрошення виїмкових і прохідницьких комбайнів з подаванням води безпосередньо до різців і секційній системи зрошення з автоматичним

включенням води у зоні роботи стругу; розробка засобів гідрознепилення для механізованого кріплення на похилих і крутих пластах; розробка ряду уніфікованих форсунок [42,43]. На думку вчених МакНДІ, незалежно від способу виїмки ніши повинно бути передбачено зрошення відбитого вугілля перед навантаженням із дольовою витратою води 20-30 л/т. Для підвищення ефективності зрошення рекомендується передбачити додавання до води змочувача. З цією метою треба використовувати ручний зрошувач типу РО-1, до складу якого входять дозуючий пристрій та ємність для змочувача [44].

Роботи у даному напрямку продовжуються і у теперішній час: розробляються способи зрошення в умовах підвищенного тиску води для прохідницьких комбайнів, випробовуються технологічні схеми зрошення для стругів, що забезпечують більш ефективний тиск пилу, контроль стану системи і диагностику відмов, створюються системи зрошення для ріжучих органів виїмочних комбайнів, що одночасно забезпечують ефективне пилоподавлення і захист від фрікційного іскріння.

Дослідження пилоаеродинаміки очисних і підготовчих вибоїв, досліди на моделях дозволили розробити науково-обґрунтовані положення з застосування пиловловлювання в очисних і підготовчих вибоях. Були створені дослідні зразки пиловловлюючих установок для виїмкових комбайнів.

Результати досліджень і великий досвід впровадження способів і засобів боротьби з пилом в шахтах дозволили сформулювати нормативні вимоги до конструкції і параметрів забійних машин за пиловим чинником і до засобів пилоподавлення. Це знайшло відображення у відповідних розділах таких документів, як: «Правила безпеки в вугільних шахтах», «Нормативи по безпеці забойних машин, комплексів і агрегатів».

Розробки інституту МакНДІ було покладено в основу створення й реалізації проектів комплексного знепилювання шахт, що забезпечить зниження запиленості повітря з рівней в 1000 мг/м^3 до 100 мг/м^3 і нижче.

Були виконані досліди зі знепилення повітря в надшахтних будівлях і збагачувальних фабриках, на основі яких розроблені технологічні схеми і методи розрахунку аспірації повітря від джерел пиловиділення, укриття технологічного обладнання, що утворює пил. В результаті були підготовлені «Тимчасове керівництво із застосування засобів боротьби з пилом на збагачуючих фабриках і сортуваннях шахт» і «Нормативи з проектування аспіраційно-знепилюючих систем сортувань шахт і збагачуючих фабрик Донбасу». Результати цих робіт актуальні і у теперішній час.

Усі існуючі засоби, які застосовуються на збагачувальних і брикетних фабриках, можно розділити на чотири групи: 1) плівкові, на яких вода витікає по стінках тонкою плівкою; 2) зрошувальні, у яких рідина створює при стіканні суцільну завісу по всьому розтину; 3) комбіновані, які суміщують перші два способи; 4) мокрі фільтри (барботажні і пінні пиловловлювачі).

Найбільше розповсюдження отримали прямоточні уловлювачі та циклони зрошення. Вони застосовуються на збагачувальних фабриках у сушильних установках для тонкого очищення димових газів і на брикетних фабриках під час кінцевого очищення повітря для знепилення пресів. [45].

Важливим питанням пилоподавлення є контроль запиленості шахтного повітря. В основу пилового контроля був покладений гравіметричний метод визначення концентрації пилу. Розроблена «Інструкція з виміру концентрації пилу в шахтах та обліку пилових навантажень» (ДНАОП 1.1.30-5.24-96), згідно з якою на шахтах повинен вестись оперативний і періодичний пиловий контроль шляхом визначення відповідно максимально разових і середньозмінних концентрацій пилу. Для замірів концентрації пилу розроблені два види приборів: переносні пиломіри ВЗША і індивідуальні пилопробонабірники ПГ. В пиломірі ВЗША концентрація пилу визначається оптичним абсорбційним методом. Важливою перевагою вимірювача ВЗША у порівнянні з тим, що застосовується в теперішній час аспіратором АЕРА, є його оперативність, оскільки результат виміру концентрації становиться

відомим безпосередньо на місці виміру через 3-7 с (цифрова індикація), тоді як під час використання аспіратора АЕРА результат визначення отримують лише на другий чи третій день. У пилопробонабірнику ПГ запилене повітря спочатку пропускається крізь циклон, що відділяє крупні фракції пилу, а потім крізь фильтр АФА, який відділяє тонку фракцію пилу. Пилопробонабірник ПГ компактний, дозволяє відбирати проби безперервно впродовж робочої зміни, з його допомогою можливо проводити заміри концентрації пилу без спеціального замірника.

Широке впровадження нових приборів і апаратури пилового контролю забезпечить отримання об'єктивних даних про умови шахтного повітря за пиловим чинником і про ефективність засобів знепилення повітря, створить можливість обліку індивідуальних пилових навантажень на працівників, а також дозволить здійснити на шахтах організаційні заходи, направлені на зниження викидів карбоновмісного пилу до атмосфери.

Перші дослідження з вивчення вибухових властивостей карбоновмісного пилу були розпочаті Н.Н. Черніциним і Д.Г. Левицьким в 1910-1912 роках на Макіївській дослідній станції. Були визначені вибухові властивості вугільного пилу шарів Донбасу і розроблений сланцевий пиловибухозахист. Застосування сланцевого захисту в той час дозволило підвищити пиловибухобезпечність на шахтах. Але зі зростанням механізації вуглевидобутку різко зросли пилоутворення і інтенсивність пиловідложення у мережі гірничих виробок. В цих умовах розкрились істотні недоліки сланцевого захисту. В зв'язку з цим МакНДІ були проведені досліди з вивчення процесів протікання вибухів пилу, а також із їх запобігання і локалізації шляхом створення інертних середовищ із диспергованої води і різноманітних водних розчинів, повітряно-механічної піни, зв'язування пилу водою і розчинами змочувально-зв'язуючих складів та ін. Всі розроблені методи об'єднані в єдиний комплекс пиловибухозахисту вугільних шахт. В теперішній час пиловибухозахист шахт може здійснюватися на основі

застосування інертного пилу (сланцевий пиловибухозахист), води (гідропиловибухозахист) чи інертного пилу і води (комбінований пиловибухозахист) [46].

Для очищення від пилу загального шахтного вихідного струменю повітря рекомендується використовувати ударно-компенсаційні фільтри, які використовуються в рудній промисловості. Обов'язковою умовою їхнього ефективного застосування є наявність процесу виділення, крапельно-рідинної води за умов розрідження повітря, що підіймається стовбуром шахти. Ефективність очищення повітря в ударно-компенсаційному фільтрі складає 70-80 %, аеродинамічний опір 18 мм вод. ст. при швидкості руху повітря між пластинами фільтра 4-8 м/с [46].

Для покращення пилового стану в лавах у нашій країні та за кордоном застосовують нисхідне провітрювання очисних виробок. У Німеччині одним з пріорітетних напрямків покращення умов у шахтах за пиловим, а також тепловим і газовим чинниками, було переведення очисних виробок крутих і похилих шарів на нисхідне провітрювання.

У Китаї проводяться широкі дослідження з переводу шахт на схеми нисхідного провітрювання. В останній час такі схеми застосовуються більше ніж у 170 очисних виробках, з них 40% – на пластах полеглого і крутого падіння.

Під час нисхідного провітрювання повністю усувається шкідливий вплив самопливного потоку відбитого вугілля на умовах провітрювання очисної виробки не тільки за газовим, але і за пиловим чинником. Відомо, що під час висхідного провітрювання зустрічний потік відбитого вугілля, за рахунок власної ежектуючої дії, суттєво послаблює, а – під час збільшення продуктивності виїмки призводить до часткового чи повного опрокиду вентиляційного струменю в межах очисної виробки. Окрім погіршення провітрювання за газовим чинником, виникаючі при цьому зони рециркуляції потоку перешкоджають виносу пилу і можуть створювати в лаві зони дуже

високих концентрацій пилу, який під час зупинок комбайну інтенсивно виноситься до штреку. При цьому лава стає своєрідною «пилоосадною камерою», на поверхнях якої у великих кількостях осаджується пил і створюється небезпека її взметування під час різноманітних збурень повітряного потоку чи механічній дії на відкладений пил. До переваг нисхідного провітрюваня у порівнянні з висхідним, треба віднести той факт, що в цьому випадку створюються більш сприятливі умови для ефективного застосування пилоподавлення за умов відносно низьких витрат води [47].

1.4. Аналіз ефективності засобів та методів, що застосовуються для зниження запиленості повітря у вугільних шахтах

За даними МакНДІ в теперішній час: ефективність зволоження відбитого вугілля в ніші при існуючих засобах пилоподавлення складає 70%, ефективність зрошення під час навантаження вугілля під лавою – 50%, за наявності укриття – 90 %. [48]. Дані з визначення ефективності попереднього зволоження пласту вугілля у масиві приведені в таблицях 1.3-1.6.

Таблиця 1.3.

Ефективність попереднього зволоження вугілля в масиві

Питома витрата рідини, л/т	**Ефективність, %**	
	Зволоження водою	**Зволоження з додаванням змочувача ДБ в кількості 0,2 %**
6	10	28
8	20	36
10	30	44
12	35	48
14	37	50
16	40	52
18	42	54
20	45	56

Таблиця 1.4

Ефективність гідрознепилення під час виїмки вугілля

Спосіб та умови виїмки вугілля	Спосіб гідрознепилення	Ефективність(%) при витраті води(л/т)				
		15-20	21-25	26-30	31-35	35-40
Виїмка вугілля комбайном на полеглих пластах	Зовнішнє зрошення	60	70	72	75	82
	Зрошення з підведенням води в зону руйнування	82	85	87	88	90
	Подавлення пилу піною	90	92	93	94	95
Виїмка вугілля комбайном на крутих і крутопохилих пластах	Зовнішнє зрошення	55	57	62	68	70
	Подавлення пилу піною	80	81	81	82	82
Виїмка вугілля щитовими агрегатами на крутих і крутопохилих пластах	Зовнішнє зрошення	60	65	70	75	77
	Подавлення пилу піною	60	72	77	80	82
Виїмка вугілля відбойними молотками	Подавлення пилу піною	50	55	62	64	65

Таблиця 1. 5

Ефективність зрошення при пересуванні секцій кріплення

Умови використання кріплення	Ефективність зрошення, %
Очисні вибої на полеглих і похилих пластах	75
Очисні вибої на крутих і крутопохилих пластах	80

Таблиця 1.6

Ефективність уловлення пилу

Кратність відсосу повітря	Ефективність уловлення пилу (%) при кратності підсвічування вихідного струменю			
	0	0,75	1,0	2,0
0,2	25	55	60	75
0,4	45	65	70	82
0,6	65	80	85	90
0,8	85	90	92	95
1,0	99	99	99	99

На думку С.Ю. Єрохіна з енергетичної точки зору з усіх пристроїв пилоподавлення, які використовують імпульс сприскування форсунками рідини, найбільш переважними є прямоточні однофорсункові ежектори. При цьому їхній ККД не може перевищувати значень 0,2-0,5 в залежності від ККД насосної установки і кута розкриття факела форсунки. Аналогічний показник, наприклад, для каскадного трьофорсункового ежектора, не може перевищувати 0,1-0,3. На його думку, переважно використовувати конусні зрошувачі типу КФ, оскільки їхнє ККД на 1; 6 и 12 % вище, ніж у зонтичних форсунок типу ЗФ с кутами розкриття факелів 15; 40 і 75 град відповідно [49].

Незважаючи на те, що перші досліди з нагнітання води до пласту з метою запобігання пилоутворенню відносяться до 1890 року, а систематичне зволоження пластів почалося у 1942 році, цей спосіб боротьби з пилом не можна вважати достатньо вивченим. Технологічні схеми зволоження диференціюються в залежності від довжини і розташування шпурів (свердловин), характеру нагнітання води, виду енергії, що використовується для нагнітання води, а також від розташування обладнання для цього процесу.

Висловлюються різноманітні думки про ефективність тієї чи іншої схеми з точки зору запобігання пилоутворення, економічності, технологічної доцільності. Найбільше поширення отримала схема нагнітання за допомогою пристрою крізь шпури (свердловини), пробурені з забою, яка і є найбільше вивченою. Разом з тим, спостерігається тенденція до використання свердловин для зволоження, пробурених паралельно лінії очисного вибою в зоні постійного гірничого тиску.

Процес попереднього зволоження вугілля в масиві можна розглядати як фільтрацію рідини в пористому середовищі з одночасною насиченістю рідиною пор, що не приймають участь у фільтрації. Для підвищення ефективності попереднього зволоження шару рядом авторів рекомендується додавати змочувач [50].

П.М. Петрухін и А.Н. Кульбачний [51] дослідили ефективність пилоподавлення «омагніченою» водою. Проведені дослідження показали, що «омагнічування» води декілька збільшує змочуваність карбоновмісного пилу, однак на практиці магнітна обробка води дає незначний ефект і поки не має практичного застосування.

Дослідженням питань удосконалення попереднього гідравлічного впливу на шар займались вітчизняні і закордонні вчені [52 — 61]. Однією з основних переваг цього способу є зміна стану і властивостей вугільного масиву, що дозволяє попередити виникнення небезпечних явищ під час ведення гірничих робіт. Ще в 1956 році академік А.А. Скочинський вказав на високу ефективність нагнітання води до пласту як засобу боротьби з пилоутворенням і підкреслював необхідість розвитку цього способу [61]. В подальшому були запропоновані ідеї нагнітання до пласту різноманітних речовин.

Ученими України і Росії розроблений ряд технологічних схем нагнітання води до пласта крізь свердловини, запропоновані способи і науково-обґрунтовані режими впливу, направлені як на зміну певного комплексу властивостей вугільного масиву, так і на підвищення якості обробки. Запропоновані різноманітні види рідин, що включають водні розчини активних і хімічно активних речовин, рідини, що змінюють свій фазовий стан, різноманітні суспензії, аерозолі, повітря та ін. Створені теоретичні основи руху рідин і газів у вугільному масиві, способи моделювання процесів фільтрації й розрахунку параметрів нагнітання.

Результати науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок полягли в основу відповідних розділів нормативних документів, що регламентують необхідність і порядок застосування попереднього зволоження для боротьби з пилоутворенням і газодинамічними явищами у вугільних шахтах [61]. Способи нагнітання рідин у вугільний пласт дають принципову можливість запобігання небезпечним явищам у шахтах. Так, відомо, пилоутворення під час виїмки вугілля практично не відбуваєтья, якщо

попереднім зволоженням досягнуто рівномірного приросту вологості 6-7%. Сприяє зменшенню пилоутворення використання водних розчинів змочувача ДБ, хлористого кальцію, рідкого скла и водомасляної емульсії. Під час нагнітання разноманітних розчинів можна знизити запиленість на 40-50% у порівнянні зі зволоженням водою [61]. Відмічено зниження газовиділення до атмосфери гірничих виробок за гідравлічної обробки вугільного масиву. До теперішнього часу окрім попереднього зволоження запропонована ціла низка нових способів обробки з метою боротьби з газом. У результаті застосування цих способів досягається значне зниження газовиділення в очисні та підготовчі виробки. Досягнуті позитивні результати їх використання з метою недопущення газодинамічних явищ, у переважній більшості, раптових викидів вугілля і газу. Разом із тим, незважаючи на великий обсяг проведених досліджень, ефективність способів, що застосовуються в багатьох випадках, не задовольняє вимогам практики. Зниження пилоутворення під час попереднього зволоження навіть у комплексі зі зрошенням не дозволяє довести запиленість до санітарних норм. Нагнітання до пласту рідин у режимі фільтрації призводить до зниження газоносності не більше ніж на 5%, газовість виробок під час попереднього зволоження зменшується не більше ніж на 30-35% [61].

Однією з причин низької ефективності зниження пилоутворення під час попереднього зволоження є нерівномірність розподілення рідини в масиві, викликана переважним її рухом по крупних тріщинах (з малим гідравлічним супротивом) і призводить до недостатнього підвищення вологості великих блоків вуілля, у той час, як на інших дільницях пласту приріст вологості може перевищувати потрібне значення [61].

Автори [61] звертають увагу на те, що наявність необроблених блоків вугілля може буди причиною створення ділянок з підвищеним тиском газу, призвести до зменшення рівноміцності вугілля, виникненню локальних пікових концентрацій напружень і, в результаті сприяти раптовому викиду.

У зв’язку з цим висока рівномірність обробки грає особливо важливу роль за умов застосування розчинів, що переходять у твердий стан в тріщинно-поровому об’ємі. При цьому єдиною причиною нерівномірності розподілення рідини під час нагнітання є анізотропія фільтраційних і колекторських властивостей пласту, яка виражається в мінливості значень коефіцієнту проникливості і ефективної пористості за всіма напрямками. Анізотропія визначається як природними факторами (наявністю систем тріщин з різноманітною проникливістю, складним устроєм пластів, тектонічною порушеністю), так і гірничо-технічними (виникненням в результаті ведення гірничих робіт зон опорного тиску, підвищеного гірничого тиску, розвантаження) [61].

За даними роботи [60] істотний вплив на ефективність гідравлічного впливу на вугільний пласт в режимі фільтрації чинить глибина насичення вугілля рідиною. Ступінь проникнення рідини до тонкопористої структури вугілля визначається як фізико-хімічними властивостями вугілля і рідини, так і рівномірністю обробки масиву в цілому. Величина насичення масиву, рівномірність розподілу рідини і глибина насичення вугілля сумісно визначають якість обробки пласту. Підвищення якості обробки є важливим шляхом підвищення ефективності гідравлічного впливу.

Ефективність зниження пилоутворення (характеристика, найільш тісно пов’язана з якістю обробки під час нагнітання крізь шпури складає 50-60%, через короткі свердловини – 60-80%, через довгі – 70-90%) [61]. Причинами цього є розташування довгих свердловин в зоні, що не підвержені впливу гірничих робіт, і велика тривалість контакту рідини з вугіллям, яка сприяє більш глибокому його насиченню. Ці переваги, а також незалежність робіт з нагнітання через довгі свердловини від очистних робіт визначає їхня зростаюча питома вага в передчасному зволоженні вугільних пластів. Застосування довгих свердловин обмежується як гірничо-геологічними і гірничотехнічними умовами (витриманість гіпсометрії пласту, стійкість і

низька водопроникливість порід кровлі, стовбурові і комбіновані системи розробки), так і відсутністю надійних засобів направленого буріння і герметизації свердловин [60]. Крім того, під час нагнітання рідини через довгі свердловини можуть лишатися необробленими значні ділянки пласту площею у десятки квадратних метрів.

У роботі [62] представлені результати досліджень з розповсюдження води під час нагнітання до пласту крізь свердловини, пробурені вхрест нашарування з гірничих виробок. Результати показали суттєву нерівномірність обробки, причому основний приріст вологості спостерігвася на контакті пласту зі вміщуючими породами. В окремих випадках у самому масиві приросту вологості взагалі не було відмічено. Нагнітання рідини через свердловини, пробурені з поверхні, використовується, в основному, в режимі гідророзчленування, ця схема несумісна с іншими за режимом впливу.

В роботах [63,64] рекомендується бурити свердловини під прямим кутом до напряму основної природной тріщиноватості, а діагональне розташування свердловин запропоновано в роботі [65].

Цілий перелік робіт був присвячений відробці технології нагнітання з використанням різноманітних типів робочих рідин [65, 66, 67, 68, 69]. Результатами цих робіт було встановлено, що застосування водних розчинів змочувача ДБ, електролитів, рідкого скла і інших сприяє проникненню рідини в більш мілкі пори й тріщини за умов одного і того ж тиску. Нагнітання розчинів, в зв’язку з цим, підвищує якість насичення вугілля рідиною за рахунок більш глибокого просочення. Як відмічається, в результаті досліджень можна підібрати такі ПАР, введення яких до масивів, завдяки адсорбційному знижению міцності, змусить розвиватися тріщини за рахунок сил гірничого тиску. Оскільки тріщини у вугільному пласті розташовані хаотично й нема переважаючого опорного тиску, развиток їх буде рівноімовірним у всіх напрямках. Як відмічається далі в роботі [68], регіональні засоби профлактичної обробки вугільних платів мають перевагу у

порівнянні з локальними, оскільки дозволяють впливати на пласт на великих площах завчасно і тим самим розділити в просторі роботи з проведення зволоження очисних робіт. Це дає можливість не тільки боротися з основними небезпеками, але і збільшити навантаження на очисний вибій у порівнянні з забоями, в яких застосовуються локальні способи. До перспективних способів завчасної обробки вугільних пластів відноситься фізико-хімічний вплив розчинами органічних з'єднань, близьких за своєю природою до природи вугілля і володіючих здібністю переходити із рідинного стану до твердого безпосередньо в пористій структурі [61].

Таким чином, застосування різноманітних рідин, що володіють більшою в порівнянні з водою проникаючою здібністю, дозволяє покращити якість насичення вугілля за рахунок заповнення мілких пор і тріщин, однак не вирішує проблему рівномірності обробки масиву в цілому.

Для існуючих способів гідравличного впливу за класифікаціїєю Н.В.Ножкіна [70] розрізняють наступні режими впровадження рідини у вугільний пласт: фільтрація, гідрорихлення, гідророзчленення, гідророзрив, гідророзмив. Достатньо добре відомо, що режим фільтрації забезпечує найбільшу рівномірність обробки, інші режими використовуються з іншою метою. Найбільше поширення отримало напорне нагнітання з використанням насосних пристроїв, оскільки область його застосування практично не обмежується гірничо-геологічними і гірничо-технічними умовами. Низьконапірне і безнапірне (за рахунок тиску води в шахтному водопроводі) рекомендується лише для пластів з високою проникливістю.

Головним недоліком усіх способів, пов'язаних зі збільшенням тривалості нагнітання, є те, що вони забезпечують підвищення якості обробки практично тільки за рахунок використання сил саморуху. Це не може помітно сприяти насиченню слабопроникних областей великих розмірів, переборюванню відмінностей в проникності систем тріщин і окремих пачок вугільного пласту. Можливість використання низьконапорного і безнапорного нагнітання тільки

на пластах з високою проникністю і тривалий час, що потрібен для обробки, істотно обмежують область їх використання.

Автором [61] був запропонований спосіб каскадного нагнітання рідини у вугільний пласт, який забезпечує переборювання фільтраційної анізотропії взаємодією зустрічних потоків рідини від одночасно працюючих свердловин. Нагнітання через каскад свердловин, за даними [61], не вимагає спеціального обладнання і достатньо просто може бути реалізовано практично в будь-яких умовах. Групове нагнітання рідини застосовувалося і раніше, однак при цьому переслідувалася мета скорочення часу обробки і більш повне використання потужності насосних установок.

У роботі [61] методом математичного моделювання та натурних випробувань отримано, що за каскадного нагнітання рівномірність розподілу рідини підвищується на 25-30%, однак оцінка ефективності і розрахунок параметрів обробки зроблені у першому приближенні і не враховують всієї різноманітності умов фільтрації та технологічних схем нагнітання. За цієї причини спосіб не отримав поки широкого розповсюдження на шахтах.

Однією з останніх робіт даного напрямку є дисертація Гого В.Б. [71], виконана в ДонНТУ впродовж 1995 - 2008 рр. У ній автор виклав основні положення теорії гідродинамічного подавлення пилу в умовах вугільних шахт. Автором вперше розкритий механізм імпульсно-хвильового гідрознепилення повітря краплинною рідиною, який полягає в процесі занурення твердої частки пилу до краплі рідини за рахунок результуючого імпульсу діючих сил та енергетичного потенціалу системи «крапля рідини – тверда частка пилу», що визначають ефективність дрейфу і дифузії твердої частки пилу до краплни рідини. При цьому встановлено, що домінуючим чинником є величина кінетичного моменту, який залежить від моменту інерції і циклічної частоти коливань системи, яка знаходиться у фронтальній структурі тільки в дискретних масових станах з однією чи двома поглиненими частками пилу при

частоті, що відповідає частоті імпульсу, що утворюється в дисперсному пилогазорідинному середовищі.

Вперше автором аналітично встановлені й експериментально підтвержені умови виникнення ефективного процесу імпульсно-хвильового гідрознепилення, який полягає в тому, що створенний імпульс тиску в робочому просторі розповсюджується як імпульсна хвиля тиску з амплітудою, що збільшується по відношенню до амплітуди початкового імпульсув середньому в 2 рази. Однак ця теорія сьогодні ще не знайшла належного практичного підтвердження.

1.5. Аналіз інтернет-пошуку за ключовими словами дослідження.

Представлений звіт про пошук дозволяє оцінити інформаційну ситуацію за темою дисертаційного дослідження. Він є одним з документальних підтвердженнь глибини і повноти інформаційного пошуку, а також служить для фіксації поточної ситуації у області, що досліджується.

Пошук виконаний з використанням трьох найпопулярніших пошукових систем (Google, Yahoo, Bing). Порівнюючи результати запитів у різних пошукових системах, можна прийти до висновку, що найкращі результати по усім запитам показала система Google. Було відмічено, що системи Yahoo і Bing не знайшли жодного результату за запитами, відповідним темі дисертаційного дослідження на українській та російській мовах, що пояснюється більшою спрямованістю даних пошукових систем на англомовний контент. Аналізуючи результати запитів, що видаються у цих системах, можна прийти до висновку, що їх релевантність досить низька [72]. Детально вивчивши інформацію по посиланнях, запропонованими різними пошуковими системами, можна зробити висновок, що найбільша кількість корисних з наукової точки зору документів надає пошукова система Google, тому детальний аналіз засновувався на результатах, наданих саме цією системою.

Результати зведені до таблиці. Всього відпрацьовано 25 запитів, що мають відношення до дисертаційної роботи. З них 3 запити відповідає назві дисертації на трьох мовах. Серед пошукових запитів 9 англійською мовою, 8 українською і 8 російською.

Дані в таблиці представлені у наступному вигляді: Google (www.google.com): <кількість сторінок>

Запити, що аналізувалися на різних мовах: аеродисперсні середовища, диспергований водний струмінь, карбоновмісний пил, пиловий чинник у шахтах, пилоподавлення на шахтах, знепилюючі заходи, боротьба з пилом на шахтах. Звіт про пошук в інтернеті представлений у таблиці 1.7 та рис. 1.7.

У всіх випадках було знайденно достатню кількість документів. Лише в дослівному запиті, відповідному темі дисертаційного дослідження ***«Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом»*** (для аналізу більш точних результатів запит задається саме у лапках) не було знайдено жодної сторінки із повним співпадінням. Однак під час пошуку словосполучень із теми без повного уточнення пошукові системи показали досить непогані результати для англомовних запитів, що свідчить про маловивченість і новизну досліджуваної теми в Україні.

Найвищі показники знайдених сторінок англійською мовою. Решта результатів опосередковано відносяться до теми дисертаційного дослідження. Багато в чому дана аномалія пояснюється специфікою теми і ще недостатньою кількістю інформаційних ресурсів у цій області.

За 2 місяці пошук був проведений ще раз. Можна констатувати, що в цілому кількість документів за відповідними запитами трохи збільшилася, в більшій мірі за запитами на англійській мові. У окремих випадках на деякі запити результати видачі були нижче, що може пояснюватися закриттям деяких сайтів. Але це неістотні зміни, то ж результати пошуку не дублюються.

Таблиця 1.7.

Звіт про пошук в інтернеті за ключовими словами дисертаційного дослідження

N	Пошукові запити	Google
1	Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом	11
2	Reduction of negative impact on the environment of man-made pollution by carbon dust	81
3	Уменьшение негативного влияния на окружающую среду техногенного загрязнения карбонсодержащей пылью	5
4	Аеродисперсні середовища	90
5	Aerodispersive environment	15
6	Аэродисперсные среды	1910
7	Диспергований водний струмінь	2390
8	Dispersed water jet	17800
9	Диспергированный водный поток	1310
10	Карбоновмісний пил	243
11	Coal dust	28000
12	Carbon dust	21500
13	Карбонсодержащая пыль	205
14	Пиловий чинник у шахтах	1040
15	Dust factor in mines	82 300
16	Пылевой фактор в шахтах	1 240
17	Пилоподавлення на шахтах	8900
18	Dust suppression in mines	324 000
19	Пылеподавление на шахтах	7 330
20	Знепилюючі заходи	550
21	Dedusting measures	55 940
22	Обеспыливающие мероприятия	64 120
23	Боротьба з пилом на шахтах	38 000
24	Dust control in mines	5 670 000
25	Борьба с пылью на шахтах	170 000

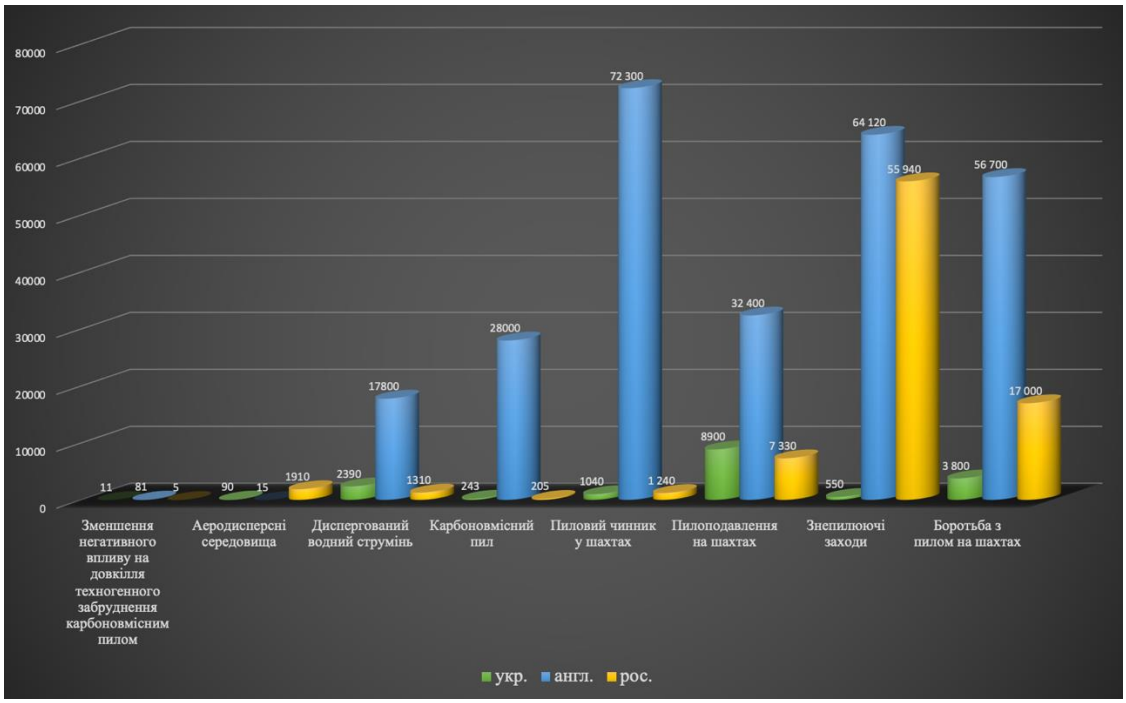


Рисунок 1. 7. – Порівняльна діаграма пошуку на трьох мовах

Таким чином, пошукові системи дали непогані результати за ключовими фразами дисертаційного дослідження, однак при завданні точних запитів кількість видаваних сторінок була досить невеликою, що свідчить про новизну досліджуваної теми.

Висновки до першого розділу

Огляд літератури з питань викидів пилу, що супроводжує основні процеси видобутку вугілля, показав, що важливою екологічною проблемою, яка супроводжує експлуатацію вугільних шахт є забруднення атмосферного повітря карбоновмісним пилом, що може впливати на якість повітря протягом значного часу і переміщуватися на великі відстані.

Карбоновмісний пил є чинником екологічної небезпеки місцевостей функціонування вугільних шахт. Аналіз підтвердив шкідливий вплив карбоновмісного пилу на навколишнє середовище: повітря, воду, ґрунт і взагалі на екологічну ситуацію місцевості, де існують операції з видобутку

вугілля, та підтвердив можливість транскордонного забруднення пиловими частками, а також негативний вплив на здоров'я населення.

Процеси видобутку і переробки вугілля, які супроводжуються інтенсивним впливом на всі компоненти НПС, істотно впливають не тільки на природу, а й на здоров’я населення. Зважаючи на ці негативні явища, можна зробити висновок, що однією з важливих проблем в Україні є забезпечення екологічної безпеки середовища проживання людей у вуглевидобувних регіонах, а саме зменшення негативного впливу на довкілля і людину техногенного забруднення карбоновмісним пилом.

На основі виконаного аналізу наукових досліджень в галузі можна стверджувати, що існуючі засоби і способи пилопригнічення недосконалі і не забезпечують зниження запиленості в повній мірі і вимагають подальшого вдосконалення. А звіт про пошук в інтернеті підтвердив маловивченість цих питань в Україні.

У зв’язку з цим, задачами подальших випробовувань із зниження запиленості шахтного повітря треба вважати вдосконалення теорії механіко-електростатичної взаємодії розпиленої води з карбоновмісним пилом на основі обліку впливу гравітаційних і електростатичних полів і використання на цій основі нових типів розпилювачів. Крім того, необхідно дослідити в шахтних умовах механізм руху аеродисперсних середовищ по мережі гірничих виробок з урахуванням гравітаційних сил за різноманітних режимів руху повітря.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ДИНАМІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФАКЕЛУ ЗРОШЕННЯ ПІД ЧАС ГІДРОЗНЕПИЛЕННЯ В ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ

2.1. Розробка методики проведення дисертаційного дослідження зі зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом

Важливою складовою для забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів є попередження забруднення довкілля карбоновмісним пилом під час функціонування вугільних шахт: що потребує наукового обґрунтування та розробки комплексу заходів знепилення, удосконалення існуючих екологічно безпечних технологічних процесів видобутку вугілля.

Заходи щодо запобігання забруднення атмосферного повітря карбоновмісним пилом повинні передбачати впровадження сучасних рішень планувального характеру, а також враховувати можливість здійснення ефективних рішень технологічного характеру [73].

Систематизація проблемних питань екологічної безпеки вуглевидобувних регіонів та формування науково-обґрунтованих рекомендацій щодо комплексу технічних рішень та заходів, спрямованих на забезпечення необхідного рівня екологічної безпеки для атмосферного повітря, потребують подальшої розробки.

Екологічна небезпека викидів карбоновмісного пилу зумовлює необхідність проведення заходів щодо знепилювання шахтних вентиляційних потоків і зниження викидів карбоновмісного пилу до атмосфери.

Таким чином, виникає наукове завдання аналізу сучасного стану способів і технічних засобів гідрознепилення та створення комплексу інженерно-технічних рішень щодо зменшення негативного впливу на

довкілля техногенного забруднення атмосферного повітря карбоновмісним пилом у вуглевидобувних регіонах.

А саме розкриття особливостей впливу чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля є актуальною задачею, вирішення якої є передумовою науково-технічного прогресу у сфері екологічної безпеки, забезпечення екологозбалансованого функціонування вуглевидобувних виробництв та сприятимуть ефективній та екологічно стійкій експлуатації вугільних ресурсів.

Це вимагає пошуку нових способів та засобів знепилення з підвищенням ефективності та надійності на основі подальших теоретичних та експериментальних досліджень.

На на рис.2.1 наведена структурно-логічна схема методики проведення наукових досліджень, яку було розроблено для вирішення цього завдання.

І етап проведення наукових досліджень включає: аналіз світової та національної статистики впливу карбоновмісного пилу на довкілля і людину, аналіз стану наукових досліджень в області пилопригнічення, аналіз сучасних засобів і методів боротьби з пилом, аналіз ефективності засобів та методів, що застосовуються для зниження запиленості повітря у вугільних шахтах.

ІІ етап включає формування наукової задачі на основі проведеного на першому етапі аналізу. Визначення методів та методик дослідження.

ІІІ етап включає теоретичні та лабораторні дослідження, розрахункові методи імовірності пилоутворення.

IV етап включає розкриття особливостей впливу головних чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях пилопригнічення з метою запобігання забруднення ним довкілля для створення наукових основ для здійснення природоохоронних заходів.

V етап включає розробку рекомендацій для подальшого практичного впровадження шляхом застосування запропонованих математичних моделей та науково обґрунтованих рекомендацій.

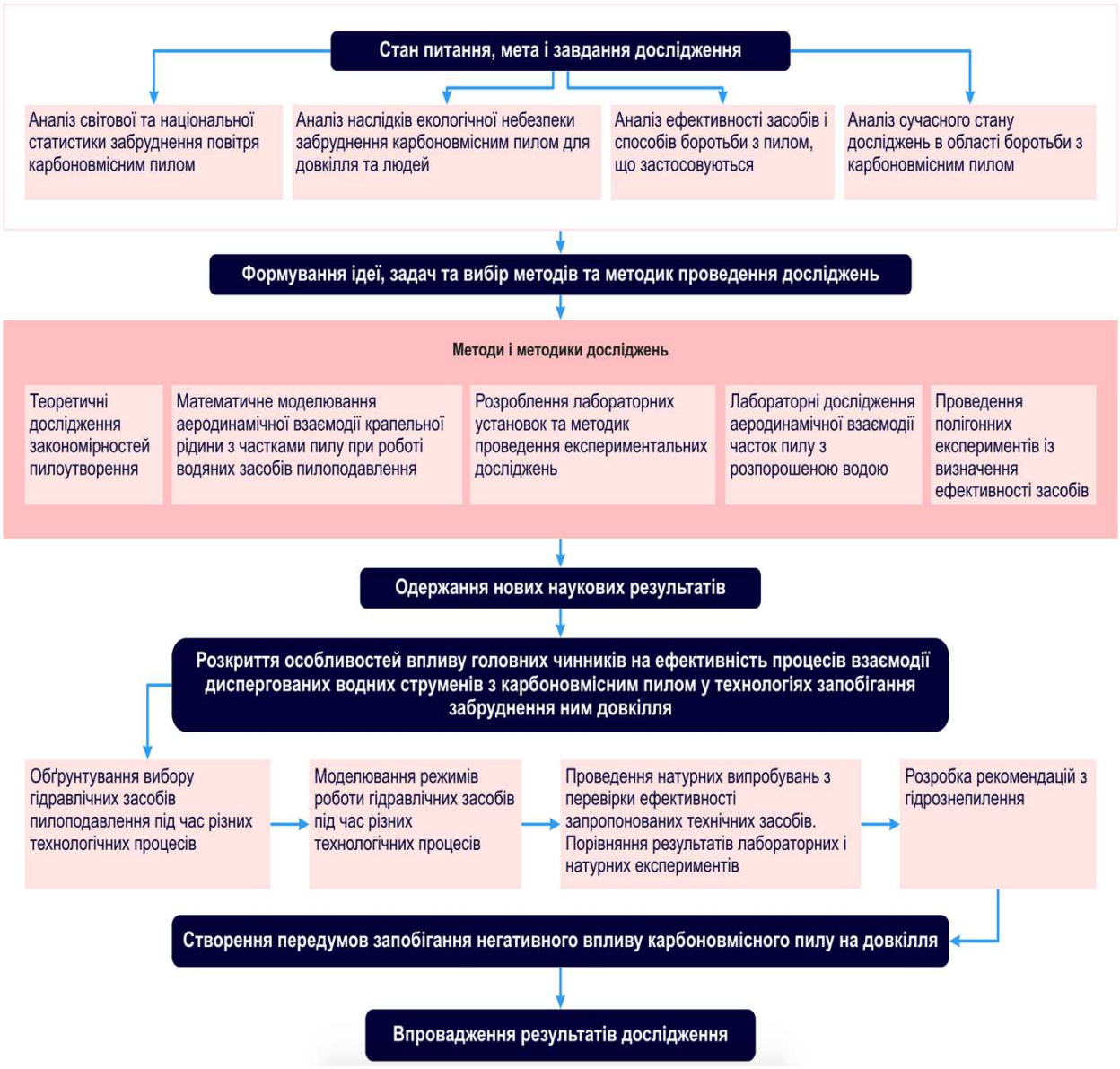


Рисунок 2.1. – Структурно-логічна схема проведення дисертаційного дослідження

2.2. Дослідження динаміки пилових потоків у гірничих виробках і розробка фізичної моделі захоплення часток пилу диспергованими водними струменями

2.2.1. Фізична модель взаємодії диспергованої рідини зі зваженим пилом

На основі відомих теоретичних і експериментальних даних взаємодії диспергованої рідини зі зваженим пилом уточнена фізична модель захоплення часток пилу. Звичайно вважається [75, 79, 83, 93, 102, 116], що для ефективного уловлювання завислих часток пилу диспергованою у вентиляційному струмені рідиною необхідно виконання чотирьох послідовних стадій: зближення крапель і часток, поверхневе осадження пилу на краплі, змочування пилу та його занурення в рідину. Однак трьох останніх стадій може й не бути, тим більш, якщо краплі рідини і частки пилу через дольові частки секунди з’являться на ґрунті виробки. Як показано в роботі [75], кореляційного зв’язку між змочуваністю пилу й ефективністю гідрознепилення не спостерігається. Тим більше, до тепер не з’ясована суперечлива роль змочувачів ПАР і доцільність їхнього використання для підвищення ефективності пилоуловлювання [75]. Це говорить про те, що основною і визначальною стадією взаємодії крапель рідини з частками пилу є стадія зближення, що потребує повного розкриття й уточнення.

Будемо вважати, що суттєвий і визначальний внесок до механізму взаємодії крапель рідини з частками пилу вносять три сили: гідродинамічна в активній зоні факелу зрошення, гравітаційна й електростатична – за її межами.

Не можна зневажати ні активною зоною факелу зрошення через її малі розміри, ні зоною осадження крапель рідини через малі швидкості їх падіння.

Зазвичай вважається, що в активній зоні "прочісування" чи захоплення пилу краплями рідини означає їхнє зіткнення з подальшим зануренням чи плаванням часток на поверхні крапель, чого, як уже відмічено, може і не бути.

За межами активної зони під дією сил гравітації продовжується, хоч і в меншій мірі, процес гідродинамічного захоплення пилу краплями рідини, оскільки швидкість їхнього падіння може досягти 1м/с і більше. Тут починають проявляти себе природні чи примусові електростатичні сили, під дією яких відбувається зближення часток пилу з краплями рідини. При цьому не обов'язково, щоб в результаті зближення відбулася адгезія чи гетерокоагуляція.

Як показує теорія і численні дані створення приграничного пласту [76, 116], за одним чи декількома тілами, які рухаються в повітрі, створюється турбулентний слід, що розширюється, з вихорями, швидкості яких направлені у протилежний від руху бік, тобто протилежно до тіла. В завихреній зоні позаду тіла чи краплі рідини сильно знижується тиск повітря [76]. Тому повітря разом з частками пилу, тим більше, якщо вони тонкодисперсні, міняє напрямок руху поблизу крапель рідини й спрямовується до них, як показано на рис.2.2,а.

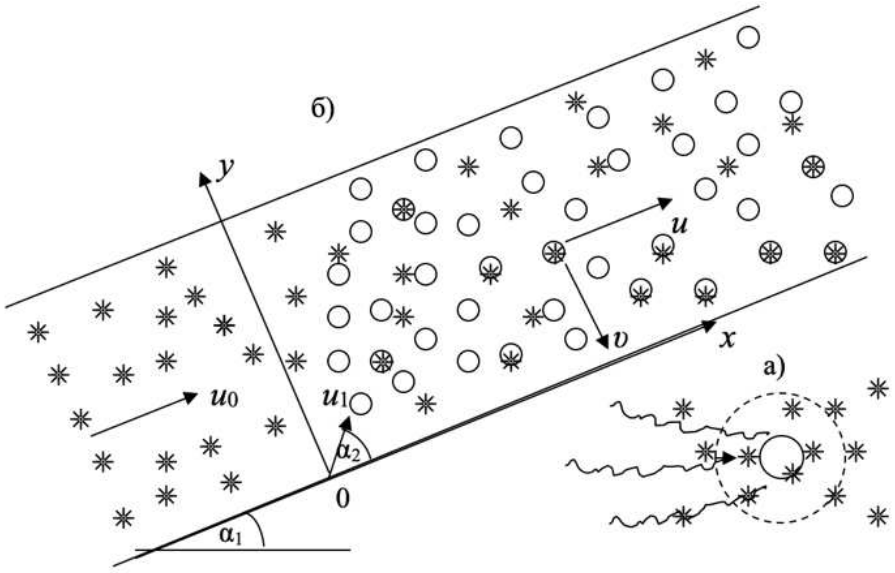


Рисунок 2.2. – Схема руху (б) та механіко-електростатичної взаємодії (а) розпиленої рідини (кружечки) з карбоновмісним пилом (зірочки) у похилій виробці.

Під час падіння відносної швидкості руху крапель до нуля декотрі частки наблизяться до крапель на відстань їхніх 3 – 4 радіусів [76] і опиняться під

дією електростатичних сил. Після падіння відносної швидкості руху крапель до нуля починається їхній осад на ґрунт виробки разом з протилежно зарядженими частками пилу.

В активній зоні захоплення пилу краплями рідини означає або їхнє зіткнення з подальшим зануренням чи плаванням часток на поверхні крапель, або слідування за краплями у вихоревих доріжках. В цьому випадку не має значення, відбувається чи ні адгезія і гетерокоагуляція часток і крапель. За межами активної зони починають проявляти себе природні чи примусові електростатичні сили, під дією яких відбувається ще більше зближення часток пилу з краплями рідини. Оскільки частки пилу попадають до сфери впливу заряджених крапель рідини, то частки продовжують рухатися за краплями. За час падіння крапель на ґрунт виробки змочування пилу може не відбутися, але їхні частки виявляться на мокрому грунті, і ефект знепилення вентиляційного струменя буде досягнутий.

2.2.2. Динаміка пилових диспергованих водних потоків у гірничій виробці

Дослідження процесів взаємодії зваженого вугільного пилу та диспергованої рідини у вентиляційному потоці неможливе без розгляду динаміки пилових і диспергованих водних струменів. Такий розгляд дає можливість визначити швидкості, траєкторії і дальність польоту як часток пилу, так і крапель рідини у виробці, що дозволить установити науково-обґрунтовану ефективність гідрознепилення зрошенням.

Під час вивчення динаміки пилових і диспергованих водних струменів, аналогічно [80], будемо вважати частки пилу і краплі рідини як окремі об’єкти, які рухаються в вентиляційному потоці.

Рівняння руху твердого чи рідкого тіла в полі сили тяжіння, має вигляд [76]

$$m_i \frac{d\vec{U}}{dt} = m_i \vec{g} - \vec{W} , \qquad (2.1)$$

де m_i – маса i - й частки пилу чи краплі рідини, кг; $\vec{U}$ – вектор відносної швидкості руху частки чи краплі, м/с; t – час з моменту початку польоту частки чи краплі, с; $\vec{g}$ – прискорення сили тяжіння, м/с^2; $\vec{W}$ – сила опору руху часток чи крапель, Н.

Оберемо вісі координат (рис.2.2, б): x – повздовжна координата вздовж руху вентиляційного потоку з початком від місця створення пилового струменя (розташування комбайну) чи від місця розташування водяного факелу, y – поперечна координата знизу доверху з початком біля ґрунту виробки.

У проекціях на вісі координат рівняння руху (2.1) прийме вигляд

$$\begin{aligned} m_i \frac{du}{dt} &= -m_i g \sin\alpha_1 - W_x; \\ m_i \frac{d\upsilon}{dt} &= -m_i g \cos\alpha_1 - W_y \end{aligned} \qquad (2.2)$$

де u, υ – проекції вектору швидкості на вісі координат, м/с; g – прискорення сили тяжіння (приймається рівним 9,81м/с^2); α_1 – кут похилу виробки до обрію, град; W_x , W_y – проекції вектору сили супротиву руху, Н.

Висловимо масу частки пилу чи краплі води через її щільність і обсяг:

$$m_i = \rho \frac{\pi}{6} d_i^3, \qquad (2.3)$$

де ρ – щільність частки чи краплі (звичайно приймається рівною 1300кг/м^3 – для часток вугільного пилу [119] і дорівнює 1000 кг/м^3 – для води);

d_i – діаметр частки чи краплі, м.

Підставляючи формулу (2.3) до рівняння (2.2), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -g \sin\alpha_1 - \frac{6}{\rho\pi d_i^3} W_x; \\ \frac{d\upsilon}{dt} &= -g \cos\alpha_1 - \frac{6}{\rho\pi d_i^3} W_y \end{aligned} \qquad (2.4)$$

Вважається, що сили супротиву руху тіла в повітрі пропорційні кінетичній енергії відносно руху і площі міделева розрізу тіла [64]. В векторній формі ця залежність може бути представлена у вигляді

$$\vec{W} = c_n \frac{\pi d_i^2}{4} \frac{\rho_0 |U| \vec{U}}{2}, \tag{2.5}$$

де c_n – коефіцієнт супротиву, який залежить від швидкості і діаметру часток чи крапель; ρ_0 – щільність повітря, кг/м^3.

Для відносного руху в струмені повітря формула (2.5) у проекціях на вісі координат з урахуванням знаку напрямку руху (за струменем чи проти нього) прийме вигляд

$$W_x = c_x \frac{\pi d_i^2}{4} \frac{\rho_0 |u \pm u_0| (u \pm u_0)}{2};$$

$$W_y = c_y \frac{\pi d_i^2}{4} \frac{\rho_0 |\upsilon| \upsilon}{2} \tag{2.6}$$

де c_x, c_y – проекції коефіцієнту супротиву на вісі координат; u_0 – швидкість вентиляційного струменя, м/с.

Підставляючи вираз (2.6) до системи рівнянь (2.4), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -g \sin \alpha_1 - \frac{3\rho_0 c_x}{4\rho d_i} |u \pm u_0| (u \pm u_0); \\ \frac{d\upsilon}{dt} &= -g \cos \alpha_1 - \frac{3\rho_0 c_x}{4\rho d_i} |\upsilon| \upsilon \end{aligned} \tag{2.7}$$

Додамо до рівнянь системи (2.7) початкові умови, виходячи з того, що частки чи краплі в місці їх утворення набувають під кутом нахилу до ґрунту виробки швидкості, що не співпадають зі швидкістю повітря:

$$1) u(0) = u_1 \cos \alpha_2; \quad 2) \upsilon(0) = u_1 \sin \alpha_2 \tag{2.8}$$

де u_1 – початкова швидкість руху часток пилу чи крапель рідини, м/с; α_2 – кут нахилу початкової швидкості руху часток чи крапель до грунту виробки, град.

Коефіцієнт супротиву c_n , що входить до рівняння (2.7), є функцією локального числа Рейнольдса Re:

$$c_n = f(\mathrm{Re}) = f\left(\frac{|U|d_i}{\nu}\right), \tag{2.9}$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості (для повітря $1{,}5\cdot10^{-5}$ м^2/с [85]).

Численні експериментальні дослідження [86] показують, що коефіцієнт супротиву кулястої форми підкорюється двучленному закону і може бути з достатнім ступенем точності прийнятий рівним

$$c_n = 0{,}5 + \frac{24\nu}{|U|d_i} \tag{2.10}$$

чи в проекціях на вісі координат отримаємо

$$c_x = 0{,}5 + \frac{24\nu}{|u \pm u_0|d_i};$$
$$c_y = 0{,}5 + \frac{24\nu}{|\upsilon|d_i} \tag{2.11}$$

На рис. 2.3 наведена розрахункова крива (2.10) і експериментальні дані [86] залежності коефіцієнту супротиву руху тіл кулястої форми від локального числа Рейнольдса під час переходу від ламінарного режиму до турбулентного.

Максимальна похибка розрахункових даних, як показали порівняння з експериментальними даними, не перевищує 10 – 20%. З аналізу можливих значень локального числа Рейнольдса виходить, що він може змінюватися у широких межах. Так, приймаючи мінімальний діаметр d_{min} = 1 мкм і мінімальну швидкість u_{min} = 0,1 м/с, отримаємо Re = 0,007. З іншої сторони, приймаємо максимальний діаметр d_{max} = 1000 мкм і максимальну швидкість u_{min} = 100 м/с, отримаємо Re = 6667. Таким чином, рух часток пилу і крапель рідини буде переходити від турбулентного режиму до ламінарного, захоплюючи і перехідний режим. Тому розгляд тільки ламінарного режиму з використанням закону Стокса, як в роботах [88, 117], може привести до грубих помилок.

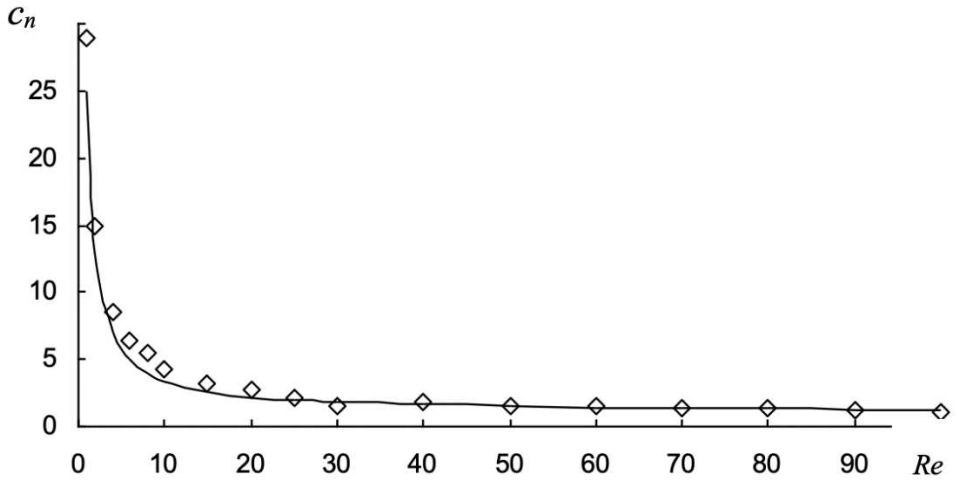


Рисунок 2.3. – Залежність коефіцієнта супротиву руху тіл кулястої форми від локального числа Рейнольдса під час переходу від ламінарного режиму до турбулентного режиму

Підставляючи формули (2.11) до рівняння (2.7), урахуємо тим самим усі можливі режими руху і отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= -g\sin\alpha_1 - \frac{3\rho_0}{8\rho d_i}[|u \pm u_0| + \frac{48\nu}{d_i}](u \pm u_0); \\ \frac{d\upsilon}{dt} &= -g\cos\alpha_1 - \frac{3\rho_0}{8\rho d_i}[|\upsilon| + \frac{48\nu}{d_i}]\upsilon \end{aligned} \qquad (2.12)$$

Знайдемо граничні значення проекцій швидкості руху часток чи крапель, приймаючи похідні в рівняннях (2.12) рівними нулю:

$$\begin{aligned} &a_2(u_2 \pm u_0)^2 - a_1(u_2 \pm u_0) - g\sin\alpha_1 = 0; \\ &a_2\upsilon_2^2 - a_1\upsilon_2 - g\cos\alpha_1 = 0 \end{aligned} \qquad (2.13)$$

де u_2 і υ_2 – проекції граничної швидкості руху на вісі координат, м/с.

У рівняннях (2.13) врахований знак граничної відносної швидкості (повздовжної і вертикальної – зі знаком «мінус») і тому відкинутий модуль швидкості. Для спрощення запису введені до розгляду коефіцієнти рівнянь (2.13), дорівнюють

$$a_1 = \frac{18\mu_0}{\rho d_i^2}; \quad a_2 = \frac{3\rho_0}{8\rho d_i} \qquad (2.14)$$

Тоді $\mu_0 = \rho_0 \nu$ – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, кг/(м·с).

Вирішуючи алгебраїчні рівняння другого порядку (2.13), знайдемо граничне значення проекцій швидкості

$$u_2 = \mp u_0 + \frac{a_1 - \sqrt{a_1^2 + 4a_2 g \sin\alpha_1}}{2a_2};$$
$$\upsilon_2 = \frac{a_1 - \sqrt{a_1^2 + 4a_2 g \cos\alpha_1}}{2a_2} \qquad (2.15)$$

У першій формулі (2.15) береться знак «+», якщо струмінь факела співпадає за напрямком із вентиляційним струменем, і знак «–», якщо не співпадає.

Доповнюючи чисельники до різності квадратів, замість (2.15) маємо

$$u_2 = \mp u_0 - \frac{2g \sin\alpha_1}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + 4a_2 g \sin\alpha_1}};$$
$$\upsilon_2 = \frac{-2g \cos\alpha_1}{a_1 + \sqrt{a_1^2 + 4a_2 g \cos\alpha_1}} \qquad (2.16)$$

З формули (2.16) виходить, що при $a_2 = 0$ режим руху ламінарний, а при $a_1 = 0$ – турбулентний.

На рис.2.4 представлена, встановлена за другою формулою (2.16), залежність граничної вертикальної швидкості від діаметру часток чи крапель. З рис. 2.4 виходить, що користуватися законом Стокса під час оцінки вертикальної швидкості руху можна тільки при діаметрах часток чи крапель менших 200 мкм. Так, важко повірити, що крапля діаметром 0,5 мм рухалась зі швидкістю 7 м/с. З урахуванням турбулентності потоку її швидкість буде складати згідно рис.2.3 всього 2,5 м/с.

Тим більше не можна користуватися законом Стокса для повздовжної швидкості в активній зоні дії факелу, де локальні числа Рейнольдса, як уже відмічалось, можуть складати декілька тисяч.

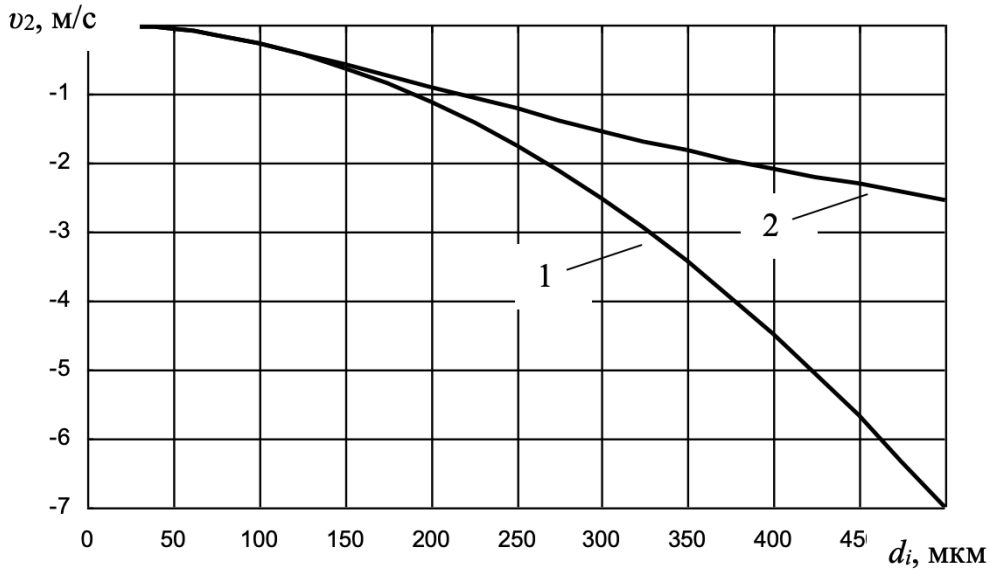


Рисунок 2.4. – Залежність граничної вертикальної швидкості руху частки чи краплі від її діаметру під час ламінарного (крива 1) і змішаного режимів (крива 2)

Рішення системи рівнянь (2.12) з початковими умовами (2.8) будемо шукати методом розділення змінних [87] і, відкидаючи модулі і ураховуючи замість них знаки, попередньо представимо систему у вигляді

$$\begin{aligned} &\frac{d(u-u_0)}{\pm a_2(u-u_0)^2 + a_1(u-u_0) + g\sin\alpha_1} = -dt; \\ &\frac{d\upsilon}{\pm a_2\upsilon^2 + a_1\upsilon + g\cos\alpha_1} = -dt \end{aligned} \tag{2.17}$$

Для першого рівняння системи (2.17), оскільки $(u \pm u_0) > 0$, рішення з першою початковою умовою (2.8) можна представити у вигляді [57]:

$$t = -\frac{1}{\sqrt{\Delta_x}}\left[\ln\left(\frac{2a_2(u\pm u_0)+a_1-\sqrt{\Delta_x}}{2a_2(u\pm u_0)+a_1+\sqrt{\Delta_x}}\right) - \ln\left(\frac{2a_2(u_1\cos\alpha_2\pm u_0)+a_1-\sqrt{\Delta_x}}{2a_2(u_1\cos\alpha_2\pm u_0)+a_1+\sqrt{\Delta_x}}\right)\right] \tag{2.18}$$

Дискримінант рівняння Δ_x дорівнює

$$\Delta_x = a_1^2 - 4a_2 g\sin\alpha_1 = \left(\frac{18\mu_0}{\rho d_i^2}\right)^2 - \frac{3\rho_0}{2\rho d_i} g\sin\alpha_1 \tag{2.19}$$

З виразу (2.19) витікає, що для горизонтальних виробок дискримінант завжди позитивний, а для похилих виробок ($\alpha_1 \le 30^0$) дискримінант позитивний за умов діаметру часток чи крапель менших 300 мкм, якщо

прийняти ρ_0 = 1,3 кг/м^3; ρ = 1000 кг/м^3; $\mu_0 = 1{,}95 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с); g = 9,81 м/с^2. Оцінка величин алгебраїчних доданків, які входять до дискримінанту, показує, що $a_1^2 >> 4a_2 g \sin\alpha_1$, тим більше для горизонтальних виробок. Тому можна прийняти $\Delta \approx a_1^2$. У цьому випадку формула (2.18) приймає вигляд

$$t = -\frac{1}{a_1}\left[\ln\left(\frac{a_2(u \pm u_0)}{a_2(u \pm u_0) + a_1}\right) - \ln\left(\frac{a_2(u_1\cos\alpha_2 \pm u_0)}{a_2(u_1\cos\alpha_2 \pm u_0) + a_1}\right)\right] \qquad (2.20)$$

Вирішимо формулу (2.20) відносно повздовжної швидкості та отримаємо

$$u(t) = u_0 + \frac{(u_1\cos\alpha_2 - u_0)\exp(-a_1 t)}{1 + \mathrm{Re}_x[1 - \exp(-a_1 t)]/48}\ , \qquad (2.21)$$

де Re_x– локальне число Рейнольдса, рівне

$$\mathrm{Re}_x = 48(u_1\cos\alpha_2 \pm u_0)a_2 / a_1 = (u_1\cos\alpha_2 \pm u_0)d_i / \nu \qquad (2.22)$$

Аналіз отриманої залежності показує, що повздовжна складова швидкості руху часток пилу чи краплі рідини змінюється від свого початкового значення до граничного, співпадає зі швидкістю повітря. Ці зміни у великій мірі залежать від локального числа Рейнольдса. Як видно з рис.2.5, чим більше початкова швидкість, за одного і того ж діаметру частки чи краплі, тим швидше знижується відносна швидкість.

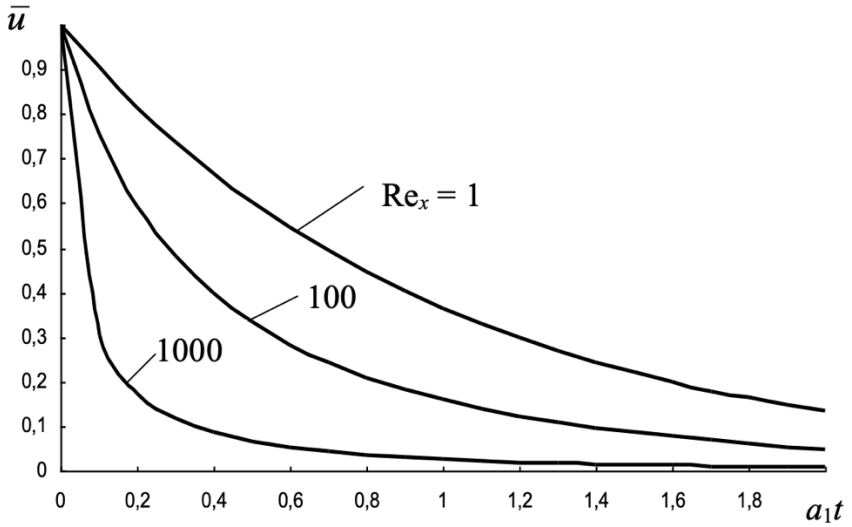


Рисунок 2.5. – Зміни у часі повздовжної відносної швидкості руху частки пилу чи краплі рідини за різних локальних чисел Рейнольдса

Тому частки пилу з їх невеликими початковими швидкостями і малими діаметрами будуть знаходитися в області ламінарного режиму руху (рис.2.3, Re_x = 1), а краплі рідини – в області турбулентного і перехідного режимів (рис.2.4, Re_x = 100 и 1000).

Тут відносна швидкість означає

$$\overline{u} = \frac{u - u_0}{u_1 \cos\alpha_2 - u_0} \tag{2.23}$$

Розглянемо дискримінант в другому рівнянні (2.13), який при $\upsilon > 0$ дорівнює

$$\Delta_y = a_1^2 - 4a_2 g\cos\alpha_1 = \left(\frac{18\mu_0}{\rho d_i^2}\right)^2 - \frac{3\rho_0}{2\rho d_i} g\cos\alpha_1 \tag{2.24}$$

Аналіз порядку величин першого і другого доданка показує, що за $\upsilon > 0$ дискримінант може бути як позитивним, так і від'ємним у залежності від діаметру часток чи крапель. Так, якщо прийняти, як і раніше, ρ_0 = 1,3 кг/м^3; ρ = 1000 кг/м^3; $\mu_0 = 1{,}95\cdot10^{-5}$ кг/(м·с); g = 9,81 м/с^2, $\cos\alpha_1 < 1$, то дискримінант позитивний за $d_i < 200$ мкм, а за більших діаметрів – від'ємний. В той же час дискримінант завжди позитивний за $\upsilon < 0$, коли після зльоту починається падіння частки чи краплі.

У цьому випадку рішення другого рівняння (2.13) з другою початковою умовою (2.8) представимо у вигляді [80]:

$$t = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{\Delta_y}}\left[\ln\dfrac{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 - \sqrt{\Delta_y}}{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 + \sqrt{\Delta_y}} - \ln\dfrac{2a_2\upsilon + a_1 - \sqrt{\Delta_y}}{2a_2\upsilon + a_1 + \sqrt{\Delta_y}}\right], & \text{если } \Delta_y > 0; \\ \dfrac{2}{\sqrt{-\Delta_y}}\left[arctg\dfrac{2a_2u_1\sin\alpha_2}{\sqrt{-\Delta_y}} - arctg\dfrac{2a_2\upsilon}{\sqrt{-\Delta_y}}\right], & \text{если } \Delta_y < 0 \end{cases} \tag{2.25}$$

Використовуючи формули (2.25), можна визначити час t_1 зльоту частки чи краплі до зупинки, коли вертикальна складова швидкості обертається в нуль:

$$t_1 = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{\Delta_y}}[\ln\dfrac{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 - \sqrt{\Delta_y}}{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 + \sqrt{\Delta_y}} - \ln\dfrac{a_1 - \sqrt{\Delta_y}}{a_1 + \sqrt{\Delta_y}}], & \textit{если } \Delta_y > 0; \\ \dfrac{2}{\sqrt{-\Delta_y}}\,arctg\,\dfrac{2a_2u_1\sin\alpha_2}{\sqrt{-\Delta_y}}, & \textit{если } \Delta_y < 0 \end{cases} \tag{2.26}$$

Розв'яжемо формули (2.25) відносно поперечної швидкості і отримаємо

$$\upsilon(t) = \begin{cases} \dfrac{(a_1 + \sqrt{\Delta_y})A\exp(-\sqrt{\Delta_y}t) - a_1 + \sqrt{\Delta_y}}{2a_2[1 - A\exp(-\sqrt{\Delta_y}t)]}, & \textit{если } \Delta_y > 0; \\ \dfrac{\sqrt{-\Delta_y}}{2a_2}\,tg[arctg\,\dfrac{2a_2u_1\sin\alpha_2}{\sqrt{-\Delta_y}} - \dfrac{\sqrt{-\Delta_y}t}{2}], & \textit{если } \Delta_y < 0 \end{cases} \tag{2.27}$$

Тут для скорочення запису введений в розгляд безрозмірний коефіцієнт

$$A = \frac{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 - \sqrt{\Delta_y}}{2a_2u_1\sin\alpha_2 + a_1 + \sqrt{\Delta_y}} \tag{2.28}$$

На рис.2.6 наведені результати розрахунку за формулами (2.21) і (2.27) зміни в часі повздовжної і вертикальної складових швидкості руху частки чи краплі в горизонтальній виробці.

Вихідні дані під час розрахунку прийняті наступними: динамічна в'язкість повітря $\mu_0 = 1{,}95\cdot10^{-5}$ кг/(м·с); кінематична в'язкість повітря $\nu = 1{,}3\cdot10^{-5}$ м^2/с; кут похилу факелу, розташованого у ґрунті, до горизонту $\alpha_2 = 45^0$; щільність повітря $\rho_0 = 1{,}3$ кг/м^3; щільність води $\rho = 1000$ кг/м^3; швидкість повітря $u_0 = 1$ м/с; початкова швидкість крапель рідини $u_1 = 30$ м/с; прискорення свободного падіння $g = 9{,}81$ м/с^2; середній діаметр крапель рідини $d_к = 200$ мкм. З рис. 2.4 видно, що через чуть більше 0,2 с, повздовжна швидкість знижується і порівнюється зі швидкістю повітря, а вертикальна швидкість стає від'ємною.

Оскільки для практичного застосування ($d_k \le 200$ мкм) в основному знадобиться перша формула (2.27), проінтегруємо її, а також формулу (2.21)

в часі. Тоді для визначення координат місцезнаходження частки чи краплі отримаємо

$$x(t) = u_0 t + \frac{1}{a_2}\ln\left[1 + \mathrm{Re}_x[1 - \exp(-a_1 t)]/48\right];$$
$$y(t) = \upsilon_2 t + \frac{1}{a_2}\ln\frac{1 - A\exp(-\sqrt{\Delta_1}t)}{1 - A} \qquad (2.29)$$

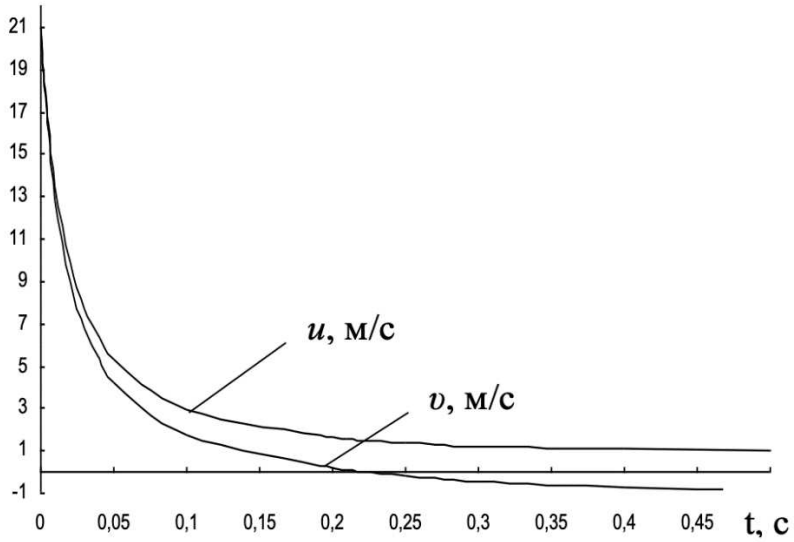


Рисунок 2.6. – Зміни в часі повздовжної і вертикальної складових швидкості руху крапель рідини в горизонтальній виробці після їх вильоту з форсунки під кутом 45^0.

Знаючи координати місцезнахождення крапель рідини можна визначити траєкторії їхнього польоту. На рис.2.7 за тих вихідних даних, що і раніше, наведені результати розрахунку за формулами (2.29) траєкторії польоту крапель рідини при куті розхилу факелу 75^0 і швидкості витікання 100 м/с.

З рис.2.7 видно, що крапля при куті 75^0 спочатку злітає, а потім під тим же кутом опускається, а при куті 0^0 спочатку рухається прямолінійно, а потім починає знижуватися. Як видно, при розташуванні однієї форсунки посередині розрізу виробки висотою 2,5 м краплі рідини перекривають всі розрізи і, таким чином, «прочісують» весь зважений пил на відстані до 4 м.

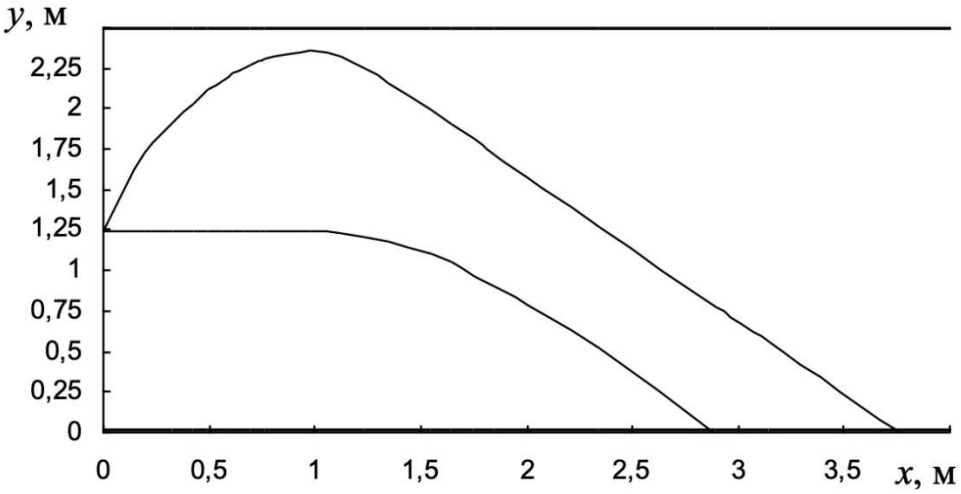


Рисунок 2.7. – Межі траєкторій польоту крапель рідини діаметром 200 мкм в гірничій виробці при куті розхилу форсунки 75^0

На рис.2.7 представлені результати розрахунку положення крапель рідини діаметром 100 мкм над ґрунтом виробки в залежності від відстані до форсунки за початкової висоти h_i = 1 м і куті нахилу форсунки до горизонту 0^0. Там же нанесена штрихова лінія, що вказує на те, що положення частки пилу діаметром 10 мкм майже не змінюється на вказаній довжині.

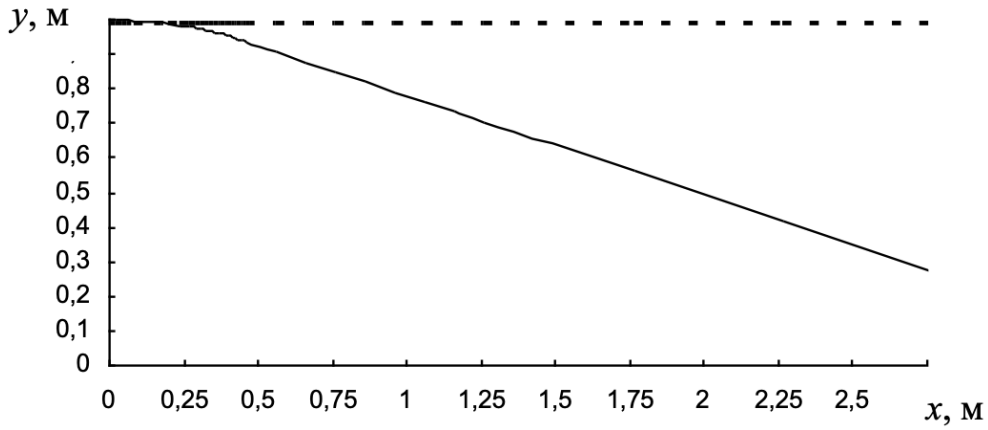


Рисунок 2.8. – Положення краплі рідини діаметром 100 мкм (суцільна лінія) й частки пилу діаметром 10 мкм (штрихова лінія) над грунтом виробки в залежності від відстані до форсунки

З рис.2.8 виходить, що крапля рідини спочатку дотримується прямолінійного шляху руху, а потім починає наближатися під дією сил

тяжіння до ґрунту виробки, в той час як частка пилу залишається приблизно на тій же висоті.

Вочевидь, максимальна дальність польоту крапель рідини буде досягнута при розташуванні сопла форсунки під кутом до ґрунту виробки з тим, щоб первісні втрати рідини на ґрунті були мінімальными. Однак про ефективність гідрознепилення в цьому випадку можна судити тільки після вивчення взаємодії розпиленої рідини з карбоновмісим пилом.

2.3. Дослідження параметрів аеродинамічної взаємодії водяних факелів з карбоновмісним пилом

Отримані результати динаміки часток пилу і крапель рідини дозволяють дослідити, як відбувається взаємодія розпиленої рідини з карбоновмісним пилом в активній зоні факела. Будемо виходити, як і в ряду робіт [63, 67, 68], з того, що взаємодія можлива за рахунок виникнення відносної швидкості руху часток пилу і крапель рідини, в результаті чого відбувається «прочісування» краплями води хмари зваженого пилу. Цей ефект тим більше, чим час «прочісування» більше і чим більше концентрації крапель рідини і часток пилу. Для урахування взаємодії крапельної рідини і вугільного пилу, якого приводять до осаду останнього в гірничій виробці, будемо вважати, що краплі рідини і частки вугільного пилу в потоці повітря представляють собою полідисперсну середу зі середньогармонічними діаметрами.

$$d_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \gamma_i / d_i}; \quad d_ч = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} \gamma_j / d_j}, \tag{2.30}$$

де d_k – середньогармонічний діаметр крапель рідини, м; $d_ч$ – середньогармонічний діаметр часток вугільного пилу, м; i – i-та фракція крапель рідинии; j – j-та фракція часток пилу; d_i – діаметр i-тої фракції крапель рідини чи часток пилу, м; d_j– діаметр j-тої фракції часток пилу, м; γ_i – питома вага і-тої фракції крапель рідини; γ_j – питома вага j-тої фракції часток вугілля.

Середньогармонічний діаметр часток вугілля і крапель рідини обирається для розрахунків таким же чином, як і визначення дробимості вугілля в лабораторних умовах. Такий підхід дозволяє значно спростити розрахунки імовірності пилопригнічення на відміну від запропонованої моделі в роботі [75], де вимагаються такі розрахунки для кожної фракції.

Будемо вважати, що зважений вугільний пил далеко від джерела його утворення і вже набув швидкості, що збігається зі швидкістю повітря, і знаходиться у зваженому стані. Концентрація пилу при вході до зони дії водяної завіси буде змінюватися згідно [75] пропорційно самій концентрації пилу, відносної швидкості руху частинок пилу і крапель рідини, а також сумарної ефективної площі міделевого перетину частинок пилу і крапель рідини, в результаті чого можна записати

$$V\frac{dC}{dt} = -e\frac{\pi}{4}(md_{ч}^2 + nd_k^2)\sqrt{(u \pm u_0)^2 + \upsilon^2}C, \qquad (2.31)$$

де V – деякий об'єм виробки, в якому здійснюється взаємодія пилового і крапельного потоків, м^3; C – концентрація пилу в обсязі, що розглядається, кг/м^3; e – коефіцієнт захоплення часток пилу; m – кількість часток пилу в об'ємі, що розглядається; n – кількість крапель рідини в об'ємі, що розглядається.

У рівнянні (2.31) на відміну від робіт [75, 79] урахована сумарна площа часток пилу і крапель рідини, які загромаджують перетин виробки, а не сума їх радіусів у квадраті, що позбавлено фізичного сенсу. Крім того, розглядається абсолютна відносна швидкість, як модуль чи величина її вектору, а не тільки повздовжна складова швидкості крапель рідини, оскільки вертикальна складова вносить свій ваговий внесок, особливо за великих діаметрів крапель, що раніше не приймалось до уваги.

Представимо виділений обсяг виробки як добуток

$$V = V_k\frac{V}{V_k} = \rho\frac{\pi}{6}nd_k^3 / Z, \qquad (2.32)$$

де Z – концентрація крапель рідини в обсязі , що розглядається, кг/м^3.

Підставляючи формулу (2. 32) до рівняння (2.31), отримаємо

$$\frac{dC}{dt} = -e\frac{3}{2\rho}\frac{md_ч^2 + nd_k^2}{nd_k^3}\sqrt{(u-u_0)^2+\upsilon^2}CZ \qquad (2.33)$$

Оскільки відношення площ часток і крапель можна виразити через відношення їхніх концентрацій, то воно буде дорівнювати

$$\frac{md_ч^2}{nd_k^2} = \frac{\rho}{\rho_ч}\frac{C}{Z}\frac{d_k}{d_ч}, \qquad (2.34)$$

де $\rho_ч$ – щільність часток вугілля, кг/м^3.

Оскільки $\rho/\rho_ч$ = 1000/1300 = 0,77, то рівняння (2.31) прийме вигляд

$$\frac{dC}{dt} = -e\frac{3}{2\rho}\frac{d_ч + 0{,}77d_kC/Z}{d_ч d_k}\sqrt{(u-u_0)^2+\upsilon^2}CZ \qquad (2.35)$$

Лінеаризуємо отримане рівняння, вважаючи відношення концентрацій пилу і крапель рідини приблизно постійним, і отримаємо

$$\frac{dC}{dt} = -e\frac{3}{2\rho}\frac{d_ч + 0{,}77d_kC_0/Z_0}{d_ч d_k}\sqrt{(u-u_0)^2+\upsilon^2}CZ, \qquad (2.36)$$

де C_0 – початкова концентрація пилу на вході до водяної завіси, кг/м^3; Z_0 – початкова концентрація диспергованої води, кг/м^3.

Початковою умовою для рівняння (2.36) буде

$$C(0) = C_0 \qquad (2.37)$$

Рішення рівняння (2.36) з початковою умовою (2.37) можна представити в загальному вигляді:

$$C(t) = C_0\exp\left[-\frac{3}{2\rho}\frac{d_ч + 0{,}77d_kC_0/Z_0}{d_ч d_k}\int_0^t e\sqrt{(u-u_0)^2+\upsilon^2}Z(\tau)d\tau\right] \qquad (2.38)$$

Для обчислення інтегралу, який входить до рішення (2.38), використаємо раніше отримані формули (2.21) и (2.27). Як показують дані [75], коефіцієнт

захоплення e є складною функцією, яка залежить від діаметрів часток пилу і крапель рідини, а також швидкостей їхнього руху. Однак, без обліку електростатичних сил, коефіцієнт захоплення e знаходиться в вузькому діапазоні 0,8 – 1,0 за відносної швидкості руху крапель рідини більш 1 м/с і діаметрі часток пилу і 5 мкм і більш [75]. Таким чином, в активній зоні дії факелу середнє значення коефіцієнта захоплення $e = e_0 \approx 0{,}9$.

Невідомою залишається функція Z концентрації розпиленої рідини у вентиляційному потоці. Для її пошуку використовуємо рівняння нестаціонарного переносу домішки з урахуванням втрат крапель рідини на стінках виробки і на грунті під дією сил гравітації [75]:

$$\frac{dZ}{dt} = -\frac{k\upsilon_2}{h} Z - \frac{\gamma\Omega}{S} Z , \tag{2.39}$$

де k – коефіцієнт нерівномірного розподілу крапель рідини за висотою;

γ – коефіцієнт втрат крапель рідини на стінках виробки, м/с.

Початкова умова для рівняння (2.39) буде

$$Z(0) = Z_0 , \tag{2.40}$$

де Z_0 – початкова концентрація диспергованої рідини, кг/м^3.

Рішення рівняння (2.39) з початковою умовою (2.40) представимо в вигляді [45]:

$$Z(t) = Z_0 \exp\left[-\left(\frac{k\upsilon_2}{h} + \frac{\gamma\Omega}{S} \right) t \right] \tag{2.41}$$

Таким чином, підінтегральний вираз буде відомою функцією, і сам інтеграл може бути обчислений числовими методами.

Для спрощення задачі виділимо активну (турбулентну) зону дії факелу, в якій будуть переважати динамічні сили, а в іншій частині – гравітаційні і електростатичні. Тоді в активній зоні дискрімінанти (2.19) і (2.24) приблизно

будуть рівні: $\Delta_x \approx \Delta_y \approx a_1^2$. У результаті формули для розрахунку повздовжної і поперечної складових швидкості замість формул (2.21) и (2.27) будемо мати

$$u(t) = u_0 + \frac{(u_1 \cos\alpha_2 \pm u_0)\exp(-a_1 t)}{1 + \mathrm{Re}_x[1-\exp(-a_1 t)]/48};$$
$$\upsilon(t) = \frac{u_1 \sin\alpha_2 \exp(-a_1 t)}{1 + \mathrm{Re}_y[1-\exp(-a_1 t)]/48} \qquad (2.42)$$

Оскільки в активній зоні дії факелу $u_1 >> u_0$, то використовуючи формули (2.42), для визначення величини абсолютної швидкості руху крапель рідини у всіх напрямках приблизно отримаємо

$$U(t) = \sqrt{(u \pm u_0)^2 + \upsilon^2} \approx \frac{u_1 \exp(-a_1 t)}{1 + \mathrm{Re}[1-\exp(-a_1 t)]/48}, \qquad (2.43)$$

де середнє число Рейнольдса у всіх напрямках руху крапель рідини дорівнює

$$\mathrm{Re} = \frac{u_1 d}{\nu} \qquad (2.44)$$

Якщо межі факелу не досягають стінок виробки, то втрати крапель рідини в активній зоні нема, однак тут все залежить від об'єму $V_ф$, який займуть краплі рідини, до об'єму виробки V, в якій находиться активна зона. Відношення цих об'ємів буде дорівнювати

$$\frac{V_ф}{V} = \frac{k_ф S_ф l}{Sl} = \frac{k_ф S_ф}{S}, \qquad (2.45)$$

де $k_ф$ – коефіцієнт заповнения диспергованою рідиною об'єму виробки в активній зоні дії факелу [75] (для конусної форсунки $k_ф$ = 1/3; для центробіжної форсунки при повному розкритті факелу $k_ф$ = 1).; $S_ф$ – площа, що перекривається потоком розпиленої рідини на кінці довжини факелу, м^2; l – довжина факелу, м.

Таким чином, в активній зоні дії одного факелу середня концентрація диспергованої рідини буде дорівнювати

$$Z_0 = \frac{k_ф S_ф}{3S} \frac{q_ф}{Q_0} \ , \qquad (2.46)$$

де $q_ф$ – витрата води через одну форсунку, кг/м^3; Q_0 – витрата повітря у виробці, м^3/с.

В цьому випадку при $e = e_0$ і $Z = Z_0$ інтеграл, який входить до формули (2.38) з урахуванням (2.43) буде дорівнювати

$$f(t) = \int_0^t e\sqrt{(u \pm u_0)^2 + \upsilon^2}\, Z dt = \frac{e_0 Z_0}{a_2} \ln\{1 + \mathrm{Re}[1 - \exp(-a_1 t)]/48\} \qquad (2.47)$$

Вочевидь, у кінці зони дії факелу експонентою у формулі (2.43) можна зневажити, звідки отримаємо

$$f_1 = \frac{e_0 Z_0}{a_2} \ln(1 + \mathrm{Re}/48) \qquad (2.48)$$

Підставляючи граничне значення інтегралу (2.48) до формули (2.38), знайдемо імовірність того, що дія одного факелу приведе до зниження запиленості до рівня

$$P_1 = C_1 / C_0 = \exp\left[-\frac{3e_0}{2\rho} \frac{Z_0 / d_k + 0{,}77 C_0 / d_ч}{a_2} \ln(1 + \mathrm{Re}/48) \right], \qquad (2.49)$$

де C_1 – концентрація пилу в кінці активної зони факелу, кг/м^3.

Оскільки факели діють незалежно один від одного, то імовірність зниження запиленості в активній зоні під час дії їх всіх буде дорівнювати перемноженню імовірностей під час дії кожного, в результаті чого отримаємо

$$P_1 = C_1 / C_0 = \exp\left[-\frac{3ne_0}{2\rho} \frac{Z_0 / d_k + 0{,}77 C_0 / d_ч}{a_2} \ln(1 + \mathrm{Re}/48) \right], \qquad (2.50)$$

де n – кількість факелів.

Якщо факел не перекриває всього перетину виробки, то їх оптимальна кількість обирається з міркувань того, щоб сума всіх розрізів факелів приблизно дорівнювалась розрізу виробки:

$$n_m \approx S / S_\phi = S /(\pi R^2), \qquad (2.51)$$

де R – максимальний радіус розрізу факелу, м.

Максимальний радіус розрізу конусного факелу можна визначити, якщо відомі кут його розхилу і довжина факелу. Довжину факелу знайдемо з першої формули (2.29) в нерухомому повітрі ($u_0 = 0$), вважаючи при цьому експоненту дорівнюючу нулю:

$$l = \frac{1}{a_2} \ln(1 + \mathrm{Re}/48) \qquad (2.52)$$

Підставляючи до формули (2.52) вирази (2.14) і (2.44), отримаємо

$$l = \frac{8\rho d_k}{3\rho_0} \ln[1 + u_1 d_k /(48\nu)] \qquad (2.53)$$

На рис.2.9 представлена залежність (2.53) довжини активної зони факела від діаметра крапель рідини за різноманітної швидкості їхнього вильоту з форсунки.

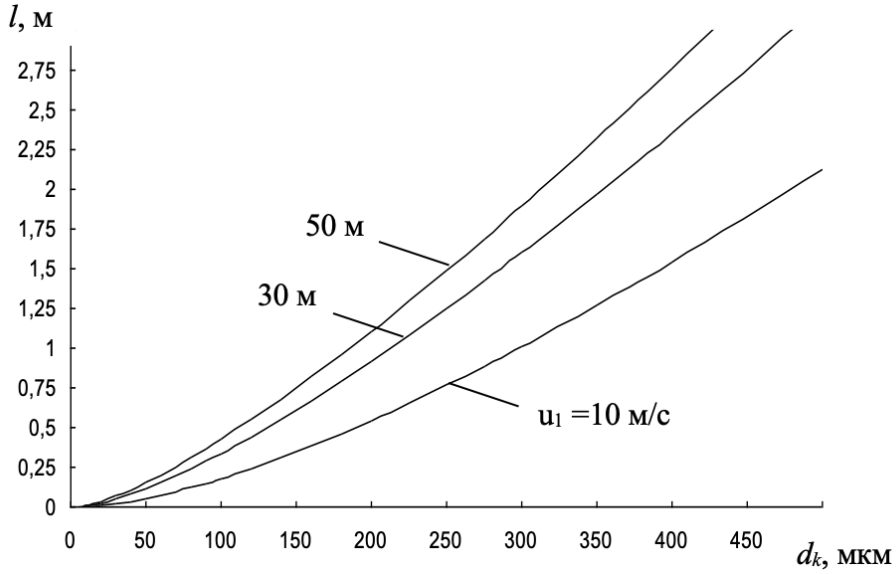


Рисунок 2.9. – Залежність довжини активної зони факела від діаметра крапель рідини при різноманітних швидкостях їхнього вильоту з форсунки

Як видно з рис.2.9, довжина активної зони факела за діаметра крапель 200 мкм знаходиться в межах 0,5 – 1,0 м. За цією зоною починається осад крапель рідини на ґрунт виробки під дією сил гравітації.

Оскільки радіус факелу конусної форсунки пов’язаний с кутом розхилу факелу і його довжиною, то він дорівнює

$$R = l\,tg(\varphi/2), \tag{2.54}$$

де φ – кут розхилу факелу, град.

Використовуючи формулу (2.54), можна визначити максимальну площу розхилу факела

$$S_{\phi} = \pi R^2 = \pi l^2 tg^2(\varphi/2) \tag{2.55}$$

На рис. 2.10 представлена залежність площі, що перекривається потоком розпиленої рідини, від кута розхилу факелу та їхньої кількості. Під час розрахунків прийнята швидкість вильоту крапель рідини u_1 = 50 м/с, їхній середній діаметр d_k = 200 мкм. Як показують результати розрахунку (рис.2.10), під час роботи однієї форсунки і кутах розхилу факелу до 40^0 перекривається потоком розпиленої рідини всього до 0,5 м^2. У той же час можна перекрити весь розріз виробки площею 9 – 10 м^2, якщо включити у роботу 3 форсунки з кутами розхилу факела 80^0 – 90^0.

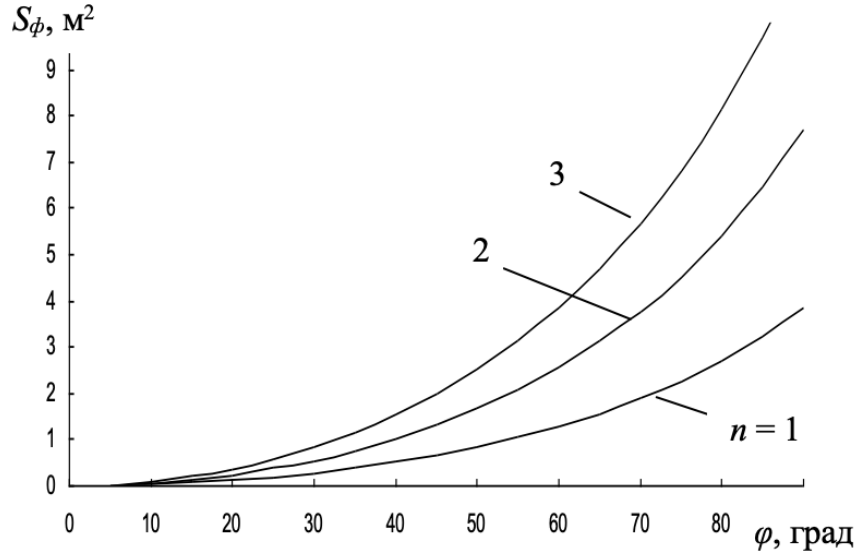


Рисунок 2.10. – Залежність площі, яка перекривається потоком розпиленої рідини, від кута розхилу факела і їхньої кількості

Ще кращого результату можна досягти, «прочісуючи» крапельною рідиною весь об’єм активної зони факела, якщо розташувати його біля ґрунту виробки з кутом розхилу факела 90^0, оскільки в цьому випадку k_{ϕ} = 1.

Використовуючи формулу (2.53) і підставляючи її до (2.50), отримаємо спрощену залежність імовірності знепилення в активній зоні факела

$$P_1 = C_1 / C_0 = \exp\left[-\frac{3ne_0 l}{2\rho}(Z_0 / d_k + 0.77 C_0 / d_ч) \right] \qquad (2.56)$$

Формула (2.56) ще більше спрощується, якщо зневажити деяким «запасом» площі, заповненої пилом у порівнянні з площею, заповненою диспергованою рідиною, в результаті чого отримаємо

$$P_1 = C_1 / C_0 = \exp\left[-\frac{3ne_0 k_ф S_ф l}{2\rho S d_k} \frac{q_ф}{Q_{0\,0}} \right] \qquad (2.57)$$

Приймаючи для розрахунків середнє значення діаметра крапель рідини d_k = 250 мкм, розглянемо, як змінюється імовірність пиловловлювання від концентрації розпиленої рідини. На рис. 2.11 представлена залежність імовірності пилопригнічення від концентрації розпиленої рідини під час дії 6-ти форсунок.

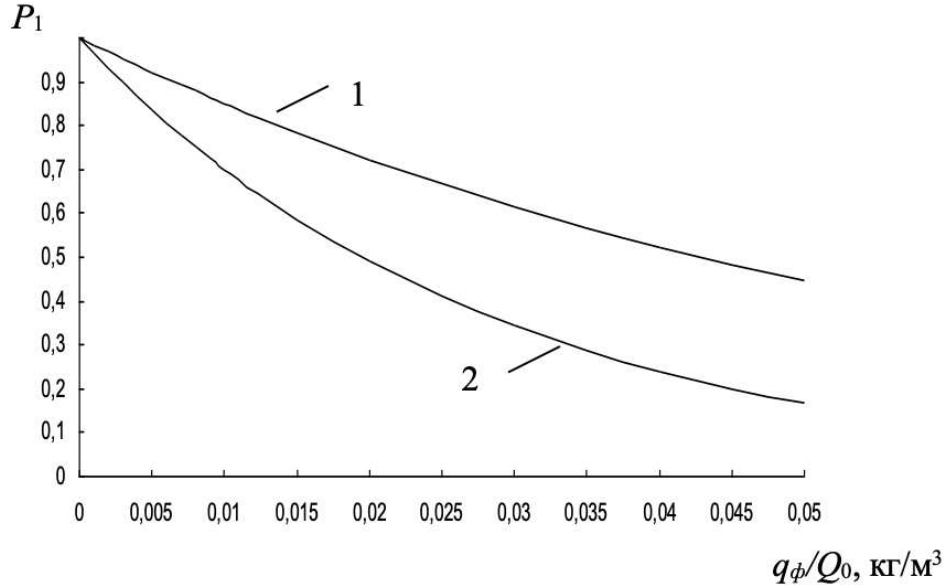


Рисунок 2.11. – Імовірність пилоподавлення в активній зоні факела в залежності від питомих витрат розпиленої рідини при дії 6-ти конусних форсунок в центрі виробки і при куті розхилу факелу 90^0(1) та 180^0(2).

Розрахунки проводилися за наступних даних: l = 1,5 м; $S_ф/S$ = 1; ρ = 1000 кг/м^3; e_0 = 0,9. Коефіцієнт заповнення об'єму активної зони приймався рівним $k_ф$ = 1 для форсунки з кутом розхилу факела 90^0 и $k_ф$ = 1/3 – для форсунки з

кутом розхилу факела $\varphi = 90^0$. Як показують розрахунки, оптимальні довжина і відносна площа зрошення розрізу виробки можуть мати місце згідно (2.53) і (2.55) за швидкості витікання крапель рідини u_1 = 50 м/с, куті розхилу форсунки $\varphi = 90^0$ і площі повздовжного розрізу виробки S = 7 м^2.

Концентрація крапельної рідини під час дії однієї форсунки, як і прийнято раніше, представляє собою відношення її витрати до витрати повітря

$$Z_0 = q_\phi / Q_0, \qquad (2.58)$$

де q_ϕ – витрати крапельної рідини крізь одну форсунку, кг/с; Q_0 – витрата повітря, м^3/с.

Як показують результати розрахунку (рис.2.11), під час застосування 6-ти конусних форсунок з витратою кожна q_ϕ = 0,25 кг/с можна знизити запиленість повітря на 60% в активній зоні дії факела при куті його розхилу 180^0, якщо витрата повітря Q_0 = 10 м^3/с. У той же час застосування тих же 6-ти форсунок, розташованих в центрі виробки дозволить знизити концентрацію пилу всього на 37% при куті розхилу факела 90^0. Це пояснюється тим, що форсунка з повним розхилом факелу «прочісує» одразу весь об’єм активної зони, у той час як форсунка, яка утворює конус, – всього 1/3 цього об’єму.

2.4. Дослідження впливу гравітаційного і електростатичного поля на ефективність осаду пилу

За межами динамічно активної (турбулентної) зони дії факелу рух крапель рідини стане стаціонарним, оскільки їхні швидкості практично зрівнюються зі швидкістю вентиляційного потоку. Відносна абсолютна швидкість руху диспергованої рідини стане рівною швидкості осаду крапель під дією сил гравітації $U = \upsilon_2$. У цьому випадку можна прийняти час, як відношення відстані до швидкості руху повітря: $t = x/u_0$. Тоді зміна концентрації пилу за межами активної зони буде відбуватися не за часом, а за довжиною виробки, і рівняння (2.36) прийме вигляд:

$$\frac{dC}{dx} = -e\frac{3}{2\rho}\frac{d_ч + 0{,}77 d_k C_1 / Z_1}{d_ч d_k}\frac{\upsilon_2}{u_0}CZ \tag{2.59}$$

Функція концентрації рідини, що входить сюди, за межами активної зони буде залежати не від часу, а від відстані до активної зони. В результаті рівняння (2.41) прийме вигляд

$$Z(x) = Z_1 \exp\left[-\left(\frac{k\upsilon_2}{h} + \frac{\gamma\Omega}{S}\right)x / u_0\right] \tag{2.60}$$

Тут під функцією початкової концентрації Z_1 будемо вважати сумарну відносну витрату рідини, зневажаючи її втратами в активній зоні:

$$Z_1 = nq_ф / Q_0 \tag{2.61}$$

Представимо коефіцієнт e захоплення часток пилу за межами активної зони у вигляді суми двох коефіцієнтів:

$$e = e_{гр} + e_e, \tag{2.62}$$

де $e_{гр}$ – коефіцієнт захоплення під час дії гравітаційних сил; e_e – коефіцієнт захоплення під час дії електростатичних сил.

Згідно даних досліджень [75], коефіцієнт захоплення під час дії електростатичних сил може бути визначений за формулою

$$e_э = \frac{16|q_ч q_k|}{3\pi\mu\upsilon_2 d_ч (d_k^2 - d_ч^2)}, \tag{2.63}$$

де $q_ч$ – середній електростатичний заряд часток пилу, Кл (кг^{0,5}м^{1,5}/с); $q_к$ – середній електростатичний заряд крапель рідини, Кл (кг^{0,5}м^{1,5}/с).

Оскільки $d_ч \prec\prec d_k$, то з достатнім ступенем точності формулу (2.63) можна представити у вигляді

$$e_э = \frac{16|q_ч q_k|}{3\pi\mu\upsilon_2 d_ч d_k^2} \tag{2.64}$$

Приймаючи всі параметри, що входять до рівняння (2.59) за константу, окрім функції Z, і підставляючи її вираз (2.60) до (2.59), отримаємо після інтегрування

$$C(t) = C_1 exp\left[-\frac{3(Z_1/d_к + 0{,}77C_1/d_ч)}{2\rho} \frac{(e_{гр} + e_e)v_2}{kv_2/h + \gamma\Omega/S} \left\{ 1 - exp\left[-(kv_2/h + \gamma\Omega/S)x/u_0 \right] \right\} \right] \quad (2.65)$$

Сумарний ефект пилопригнічення у полі гравітаційних і електростатичних сил має місце, коли експонента у формулі (2.65) мала у зрівнянні з одиницею. Тоді ймовірність пилопригнічення за межами активної зони може бути визначена як добуток імовірностей

$$P_2P_3 = C/C_1 = exp\left[-\frac{3(Z_1/d_к + 0{,}77C_1/d_ч)}{2\rho} \frac{(e_{гр} + e_e)v_2}{kv_2/h + \gamma\Omega/S} \right] \quad (2.66)$$

де P_2 – імовірність пиловловлювання у полі гравітаційних сил ($e_e = 0$);

P_3 – імовірність пиловловлювання у полі електростатичих сил ($e_{гр} = 0$).

Формула (2.66) ще більше спрощується, якщо зневажати з деяким «запасом» площі, заповненої пилом у зрівнянні з площею, заповненою диспергованою рідиною, в результаті чого з урахуванням (2.61) отримаємо

$$P_2P_3 = C/C_1 = exp\left[-\frac{3nq_ф/d_к}{2\rho Q_0} \frac{(e_{гр} + e_e)v_2}{kv_2/h + \gamma\Omega/S} \right] \quad (2.67)$$

Оскільки процеси уловлювання часток пилу краплями рідини в активній зоні факелу і за його межами незалежні один від одного, то загальна імовірність пилопригнічення визначається з урахуванням (2.57), (2.58) і (2.67) за формулою

$$P = P_1P_2P_3 = exp\left[-\frac{3nq_ф/d_к}{2\rho Q_0} \left\{ \frac{e_0 k_ф S_ф l}{S} + \frac{(e_{гр} + e_e)v_2}{kv_2/h + \gamma\Omega/S} \right\} \right] \quad (2.68)$$

Аналіз даних [75] за розрахунком коефіцієнта захоплення часток пилу діаметром 10 мкм і більше показує, що в полі гравітації з достатнім ступенем точності може бути використана формула

$$e_{гр} = \frac{d_ч^2}{d_ч^2 + 32000/d_k} \qquad (2.69)$$

На рис.2.12 показана залежність коефіцієнта захоплення часток пилу краплями рідини в гравітаційному полі при різних діаметрах часток. Там також нанесені розрахункові криві залежності (2.69).

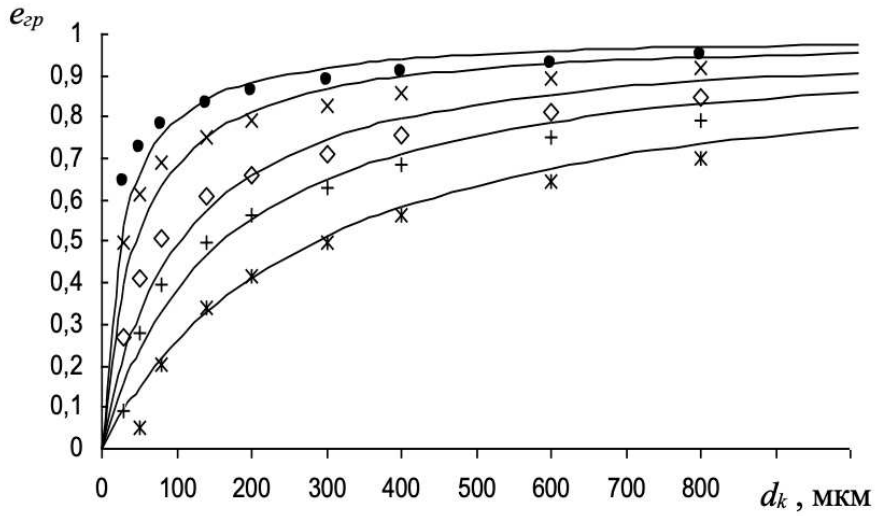


Рисунок 2.12. – Залежність коефіцієнту захоплення часток пилу від діаметра крапель рідини при різноманітних діаметрах часток (ж – 10 мкм, + – 14 мкм, ◊ – 17,5 мкм, × - 26 мкм, ● – 35 мкм).

За даними МакНДІ [79] середній медіанний діаметр зважених часток вугільного пилу в очистних вибоях Донбасу складає 20 – 30 мкм. При цьому вказується, що вміст тонкодисперсного пилу (менш ніж 10 мкм) коливається в межах 12-27%. Такі частки повинні уловлюватся електростатичними методами.

На рис.2.13 представлена залежність імовірності пилопригнічення у полі гравітації від концентрації розпиленої рідини під час дії 6-ти форсунок. Розрахунки проводились за формулами (2.67) и (2.69) з діаметрами часток

пилу 10 и 20 мкм, висоті виробки h = 3 м, коефіцієнті нерівномірності швидкості падіння k = 2 і при відсутності електростатичного поля. Втрати на стінках виробки приймались зневажно малими ($\gamma = 0$).

Як показують результати розрахунку, імовірність пиловловлення часток пилу у полі гравітації тим менше, чим менше їх діаметр. Так, за діаметру часток пилу 10 мкм можна зменшити його концентрацію до 60%, а при середній концентрації пилу 20 мкм, вона зменшується в гравітаційному полі до 40%.

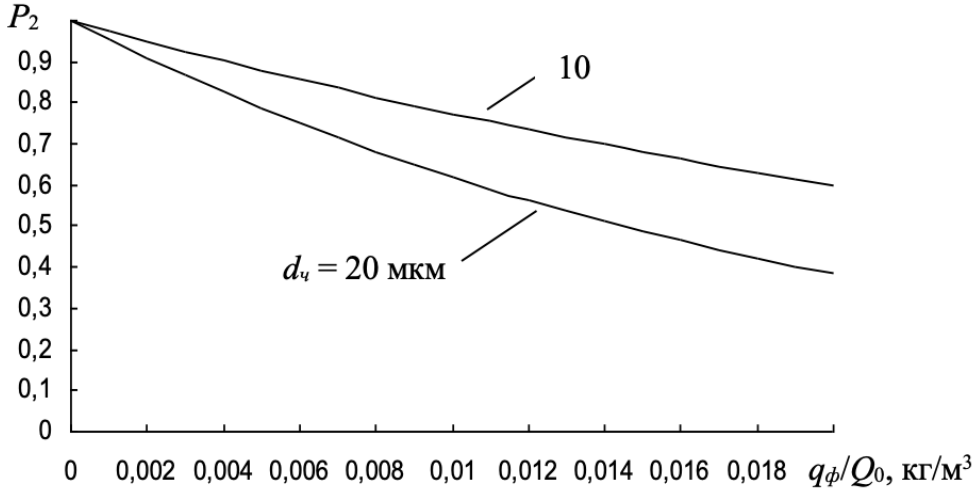


Рисунок 2.13. – Імовірність пиловловлювання у полі гравітації за межами активної зони факела в залежності від відносної витрати розпиленої рідини під час дії 6-ти конусних форсунок і різних діаметрах часток пилу

Імовірність пиловловлювання під дією електростатичних сил може бути визначена за формулою (2.68) з урахуванням (2.64) при $e_{гр}$ = 0. У результаті отримаємо

$$P_3 = \exp\left[-\frac{3nq_ф / d_k}{2\rho Q_0}\left\{\frac{16|q_ч q_k|}{3\pi\mu d_ч d_k^2}\frac{1}{k\upsilon_2 / h + \gamma\Omega / S}\right\}\right] \qquad (2.70)$$

Зазвичай імовірність пиловловлювання електростатичним методом оцінюється шляхом виміру напруженості електричного поля водного аерозолю. Ця напруженість (В/м) визначається за формулою[75]

$$E_k = \frac{|q_k|}{\varepsilon \pi d_k^2}, \tag{2.71}$$

де ε – діелектрична постійна, пов'язана з проникністю середи.

Аналогічно напруженість електричного поля пилового аеозолю знаходиться за формулою

$$E_ч = \frac{|q_ч|}{\varepsilon \pi d_ч^2} \tag{2.72}$$

З урахуванням (2.71) і (2.72) формула (2.70) прийме вигляд

$$P_3 = \exp\left[-\frac{8nq_ф}{\rho Q_0} \{ \frac{\pi \varepsilon^2 d_ч / d_k}{\mu} \frac{E_ч E_k}{k\upsilon_2 / h + \gamma \Omega / S} \} \right], \tag{2.73}$$

де $E_ч$ – напруженість електричного поля пилового аерозолю, В/м[(кг/м)^{0,5}/с];

E_k – напруженість електричного поля водного аерозолю, В/м [(кг/м)^{0,5}/с].

Аналіз отриманої залежності (2.73) показує, що за умов зменшення крапель рідини істотно збільшиться імовірність пиловловлення. При цьому необхідно урахувати електробаланс системи з тим, щоб напруженість водного аерозолю не перевищувала напруженість пилового струменя ($E_к \leq E_ч$). Перевищення цієї напруженості приведе до надлишкових втрат електростатичної енергії.

На рис. 2.14 представлена залежність імовірності пиловловлення від напруженості електричного поля водного аерозолю за наступних вихідних даних: E_n = 1200 В/м; n = 1; $q_ф$ = 0,2 кг/с; Q_0 = 0,64 м^3/с; μ = 1,95·10^{-5} кг/(м·с); k = 2 ; $d_ч$ = 10^{-5} м; d_k = 2·10^{-4} м; h = 0,7 м; γ = 0.

В якості вихідних даних використані дослідні дані МакНДІ [79], отримані під час проведення експериментів з гідрознепилення на лабораторному стенді в електростатичному полі. Необхідна для розрахунків швидкість осаду крапель води визначалась за другою формулою (2.16) і дорівнює υ_2 = 0,9 м/с. Електрична постійна провикліть середи знайдена під час порівняння розрахункових і експериментальних даних і дорівнює ε = 4·10^{-4}.

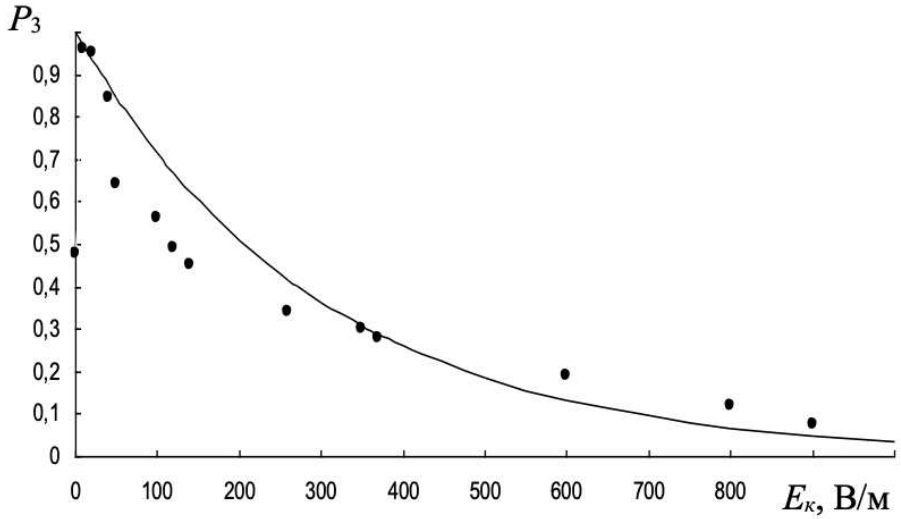


Рисунок 2.14. – Імовірність пиловловлення в електростатичному полі за межами активної зони факелу в залежності від напруженості водного аерозолю (кружечками позначені дослідні дані МакНДІ [48]).

Як показують результати розрахунку, напруженість пилового потоку також грає велику роль, збільшуючи імовірність гідрознепилення. Однак результуючий і максимальний ефект буде досягнутий, коли два заряди, протилежних за знаком і величиною, компенсуються, а напруженості електричних полів зрівняються ($E_ч = E_к$).

Таким чином, розроблена математична модель динамики пилових і диспергованих водних струменів і результати дослідження їх взаємодії у гравітаційному і електростатичному полях дозволяють науково-обґрунтовано визначити раціональні параметри факела зрошення. Ще більшу достовірность результатів теорії дозволять підтвердити додаткові експериментальні дослідження в даному напрямку.

Висновки до другого розділу

1. Уточнений механізм захоплення зваженого карбоновмісного пилу краплями рідини у вентиляційному струмені: частки пилу не повинні обов’язково змочуватися і занурюватися до крапель рідини. Цього може і не бути за природної і примусової зарядженості пилового і диспергованого

водного струменів. Попадаючи до сфери впливу електростатичних сил, частки спрямовуються до крапель, поки не впадуть до ґрунту виробки, не встигнувши коагулюватися.

2. Розроблена математична модель динаміки і взаємодії пилових потоків у гравітаційному і електростатичному полях. Запропоновано замість закона Стокса ураховувати сумарно лінійний і квадратичний супротив руху крапель під час турбулентного, проміжного і ламінарного режимів.

3. Отримані аналітичні залежності повздовжної і вертикальної складових швидкості і траєкторій польоту крапель рідини від величини і напрямку початкової швидкості, від діаметрів крапель, кутів нахилу виробки до горизонту і кутів розхилу факела. Як показують результати розрахунку руху диспергованої рідини, її швидкості в 2 – 3 раза менше, ніж за законом Стокса, за рахунок урахування турбулентності потоку.

4. Отримана аналітична залежність довжини динамічно активної зони факелу зрошення в основному від двох параметрів: швидкості вильоту крапель рідини з форсунки і їх середньогармонічного діаметру. В активній зоні факелу діаметр крапель повинен обиратися таким чином, щоб довжина факела складала половину приведеного діаметру виробки. Це забезпечить прочісування краплями всього об’єму активної зони при створенні суцільної полусфери одним факелом при куті розхилу 180^0 чи трьома факелами при куті розхилу $80^0 – 90^0$. При цьому необхідно враховувати, щоб втрати рідини на стінках виробки були мінімальними.

5. Показано результатами розрахунків, що процеси взаємодії крапель рідини з частками пилу необхідно розглядати не тільки в активній зоні дії факела зрошення, але і за її межами, де проявляються сили тяжіння крапель рідини і їх електрична природна і примусова зарядженість у вентиляційному потоці.

6. Установлено, що в активній зоні дії факела ефективність пиловловлення визначається величиною і напрямом вектору швидкості

крапель рідини. За межами активної зони – величиною швидкості падіння крапель у турбулентному режимі і електричними силами, основними з яких є напруженість полів пилового і диспергованого водного струменів. Підсумкову ефективність пиловловлення запропоновано визначити як добуток імовірностей під час дії трьох незалежих одна від одної сил: динамичної, гравітаційної і електростатичної. Коефіцієнти захоплення за результатами аналізу відомих даних досліджень [71] запропоновано в активній зоні приймати за константу, у полі гравітації визначати за спрощеною залежністю від діаметрів часток пилу і крапель рідини, а в електростатичному полі – у функції напруженості полів пилових і диспергованих водних потоків.

7. Показано результатами розрахунків, що в активній зоні за рахунок прочісування всього її обсягу можна знизити концентрацію пилу на 50 – 80%, а за межами активної зони факела за рахунок гравітаційних сил на 40 – 60% при діаметрі крапель рідини 200 мкм і діаметрі часток пилу 10 – 20 мкм. Причому, зі зменшенням діаметру часток імовірність пиловловлення збільшується. Крім того, за рахунок електростатичних сил концентрацію пилу можна зменшити на 80 – 90%. Відтак, якщо внесок кожної з сил буде складати 50%, то імовірність пиловловлення, як добуток імовірностей, складе 12,5%, і, таким чином, основна задача боротьби з пилом буде вирішена за умов відповідного вибору кількості форсунок та їх гідравлічних і геометричних параметрів.

8. Установлено, що в активній зоні факелу доцільно використовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони встанвлювати додатково туманоутворюючу завісу в 5 – 10 м від першого факела для досягнення максимальної ефективності гідрознепилення.

РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ДОСЛІДІВ З ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПИЛОПРИГНІЧЕННЯ НА ЛАБОРАТОРНІЙ УСТАНОВЦІ І ПОЛІГОНІ НДІГС

3.1. Опис лабораторної установки і обладнання

Дослід проводився на лабораторній установці НДІГС (рис. 3.1), яка представляє собою модель горизонтальної і похилої гірничих виробок постійного розрізу (80*80 см.), у масштабі 1 до 4 натуральної величини гірничих виробок шахти ім. Бажанова. Попередньо підготовлений на млині вугільний пил із заданою дисперсністю часток за допомогою спеціального пристрою – дозатора пилу конструкції НДІГС – подавався до глибини установки, де створювалася його необхідна концентрація шляхом змішування з розрахунковою кількістю повітря. Величина об’ємної концентрації визначалася за допомогою стандартних приборів типу «АЕР-5». Після відробки режимів запуску пилу почергово включали запропоновані водяні форсунки і порівнювали ефективність їхнього пилопригнічення зі стандартними розпилювачами.

Установка (див. рис. 3.1.) оснащена наступними приладами і обладнанням: психрометром, датчиком температури, ілюмінаторами, світильниками, вентилятором, манометром, мікроманометрами, трубкою Піто - Прандтля. Крім того, по розрізу розташовані 3 водяні форсунки, з можливістю їх одночасного чи почергового ввімкнення зі зміною напряму водяних струменів (за ходом повітряного струменя, проти ходу і перпендикулярно).

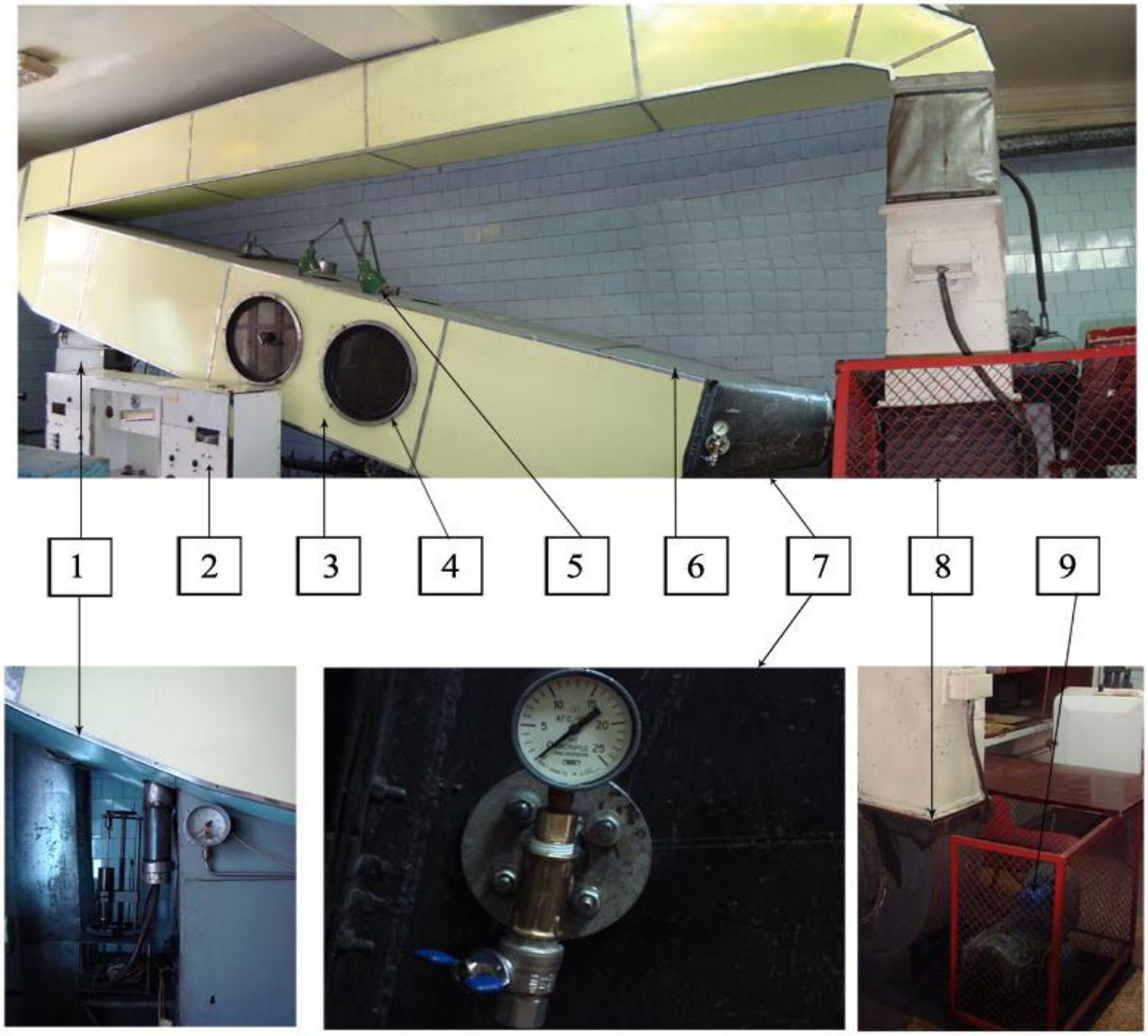
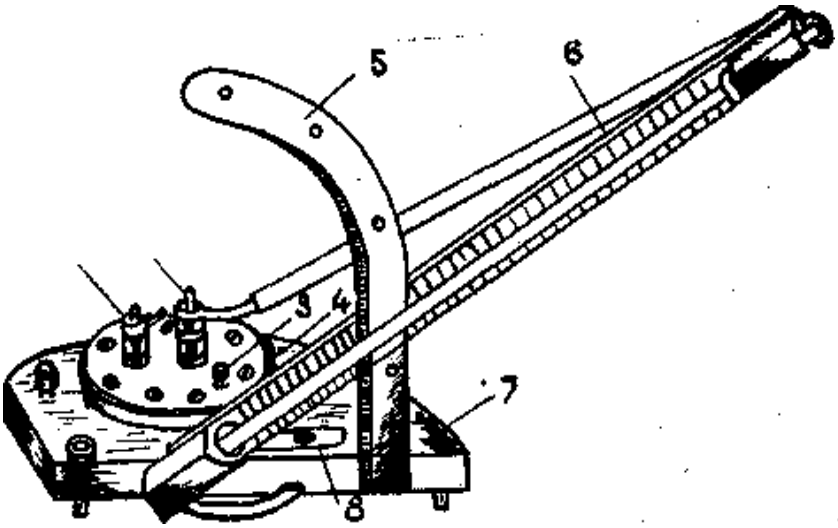


Рисунок 3.1. – Лабораторне устаткування для проведення дослідження по відробці режимів пилопригнічення

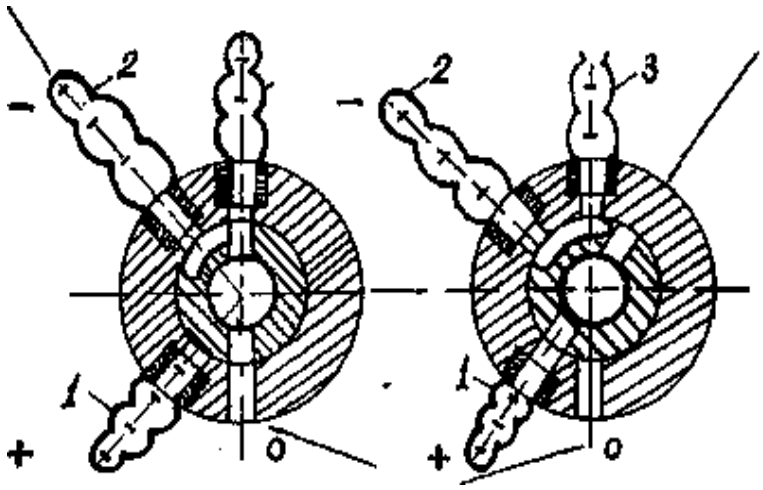
1) Пристрій для запуску і дозування пилу;
2) Пульт управління установкою;
3) Аеродинамічні труби, які імітують гірничі виробки;
4) Ілюмінатор для спостереження за процесом пилопригнічення;
5) Лампи освітлення внутрішньої частини аеродинамічних труб;
6) З'ємні технологічні люки;
7) Вузол управління водяними форсунками;
8) Вентилятор мережі гірничих виробок;
9) Двигун вентилятора.

Ілюмінатори призначені для візуального спостереження процесу і герметично закриті кришками. Мікроманометри (рис.3.2.) установлені на

спеціальних плитах, на яких змонтований трьоходовий кран 1, регулятор нульового положення 2 і розташовано отвір з пробкою 3 для заливання спирту.



а



б.

Рисунок 3.2. – Мікроманометр ММН-250:
а) загальній вигляд; б) розрізи трьоходового крана.

Для установки мікроманометра у горизонтальне положення на плиті 7 є два рівня 8. До плити 7 шарнірно кріпиться кронштейн з вимірною трубкою 6, нижня частина якої з'єднується з резервуаром 4 за допомогою еластичної гумової трубки.

Вимірювальна трубка може бути встановлена на потрібний кут нахилу, для чого до плит прикріплена дуга 5, яка має 5 отвір з цифрами 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8, які обозначають постійний множник прибора $\kappa = \rho_{cn} \sin \alpha_m$ (ρ_{cn} –

щільність спирту; α_m – кут нахилу трубки). Довжина шкали вимірювальної трубки – 250 мм і кожне ділення відповідає 1 мм.

Трьоходовий кран (рис. 3.2, б) має три штуцера. Штуцер 1 помічений знаком «+», штуцер 2 – знаком «-». За допомогою гумової трубки до штуцера 3 приєднується верхній кінець вимірювальної трубки 6 (рис. 3.2, а).

Повітремірні трубки вводять у модель виробки крізь спеціальні отвори на початку і кінці її робочої дільниці (рис. 3.1). Трубки розташовують у центрі поперечного розрізу накінечником назустріч потоку і закріпляють у горизонтальному положенні.

Спочатку встановлюють шибер на дифузорі вентилятора в положення найменшої витрати повітря. Для досліджень під час різноманітних режимів руху повітря змінюють положення шиберу на дифузорі вентилятора.

Витрата повітря в моделі виробки визначається з виразу:

$$Q = K_П V_ц S \,, \tag{3.1}$$

де $K_П$ – коефіцієнт поля швидкостей повітряного струменя у виробці; $V_ц$ – швидкість руху повітря в центрі виробки, м/с; S – площа поперечного перетину виробки, м^2.

Для цього необхідно виміряти швидкість руху повітря в центрі поперечного перетину виробки (замірної станції) $V_ц$ – і визначити величину коефіцієнта поля швидкостей повітряного струменя у виробці замірної станції. Для моделі виробки, що використовується, коефіцієнт поля швидкостей $K_П = 0{,}8$.

Величина швидкості повітря $V_ц$ визначалась за формулою:

$$V_i = \sqrt{\frac{2h_Д}{\rho}} \,, \tag{3.2}$$

де V_i – швидкість руху повітря в і-й точці поперечного перетину виробки, м/с; $h_Д$ – динамічний тиск повітря в і-й точці поперечного перетину виробки, Па; ρ – щільність повітря, кг/м^3.

Для визначення величини $h_д$ необхідно приєднати повітремірну трубку до штуцерів мікроманометра, як показано на рис. 3.2 (штуцер «+» трубки приєднати до штуцера «+» мікроманометра, а штуцер «-» трубки – до штуцера «-» мікроманометра).

Розрахунок величини динамічного тиску повітряного потоку $h_Д^Ц$, Па, в центрі поперечного перетину виробки (замірної станції) виконується за виразом:

$$h_Д^Ц = 9{,}81 \cdot l'_м \cdot К \cdot П \cdot К_м К_Т , \tag{3.3}$$

де $l'_м$ - показання мікроманометра під час вимірів динамічного тиску, мм.

Після знаходження величини h, Q і заміру геометричних параметрів виробки L, P, S величину коефіцієнта аеродинамічного опору вираховуємо за виразом:

$$\alpha = \frac{hS^3}{LPQ^2} . \tag{3.4}$$

Отримане значення коефіцієнту α необхідно порівняти з табличним для подібної реальної виробки.

3.2. Методика планування і проведення лабораторних випробувань із визначення ефективності запропонованих засобів пилопригнічення

Дослідження режимів пилопригнічення включає розгляд двох взаємопов’язаних задач: визначення параметрів роботи нових засобів пилопригнічення і визначення їхньої ефективності в різноманітних умовах. В шахтних умовах це викликає необхідність проведення великої кількості трудомістких і дороговартістних дослідів.

При цьому недостатня чи, навпаки, велика кількість дослідів може призвести з однієї сторони до отримання помилкових результатів, а з іншої – до економічно недоцільних трудовитрат. Тому великий об’єм випробувальних

досліджень проводився на аеродинамічній трубі, а для перевірки частина дослідів проводилась в шахтних умовах. Відомо, що для отримання дослідних даних, порівняних з результатами натурних випробувань необхідно додержати основні вимоги теорії подібності і розмірностей [133, 134, 135, 136]. Під час рішення практичних задач нема можливості дотримати подібність всіх характеристик процесу, тому звичайно дотримуються подібності лише окремих домінуючих параметрів явища, що вивчається.

З теорії [136] відомо, що необхідною і достатньою умовою подібності двох явищ є рівняння двох відповідних їм критеріїв подібності. Згідно [105], основними показниками, які визначають подібність є число Рейнольда *Re* і геометрична подібність розмірів виробки і аеродинамічної труби.

Для додержання подібності процесів необхідно, щоб $Re_{м} = Re_{н}$; індекс *н* означає протікання в натурі, *м* – на моделі.

Дослідження математично планувалися. Був застосований метод, заснований на побудові математичної моделі процесу, яка описує пошукову залежність. Для побудови моделі був використаний Д-оптимальний план другого ступеню [134]. Цей план мінімізує об'єм еліпсоїди відстані вектору оцінок коефіцієнтів рівняння регресії, який пропорціний кореню квадратному з визначника дисперсної матриці.

Точні Д-оптимальні плани, тобто плани, задані за допомогою матриці *x* розміром *N*n* (табл. 3.1), де *n* – кількість варійованих змінних, *N* – кількість дослідів, побудовані на основі безперервного Д-оптимального плану, заданого на області та який не містить конкретної кількості точок. Для визначення помилки досліду в декількох точках плану, вибраних випадковим чином, його необхідно провести 3-4 рази.

Найменування факторів Д-оптимального плану і рівні їх варіювання представлені в табл. 3.1, виходячи з умов поставленої задачі і відомих літературних даних [134]. Матриця планування представлена в таблиці 3.2.

Достовірність отриманих експериментальних даних забезпечується проведенням досліджень з використанням сучасної вимірювальної апаратури і виконанням умов з її тарування і експлуатації.

Таблиця 3.1

Найменування факторів і рівні їхнього варіювання

Найменування факторів	**Позначення**	**Розмірність**	**Рівні варіювання**		
Середній діаметр фракцій пилу	мкм		10	50	200
Витрата води під час включення водяних форсунок (від 1 до 3^x)	X_2	$м^3/с$	0,00007	0,00014	0,0003
Середня запиленість повітря	X_3	$мг/м^3$	50	500	2000
Швидкість руху повітря	X_5	м/с	0,1	1,5	3.0
Тип зрошувача			РТ-СЛ	ФТ-СЛ	РТ-1,2
Марка вугілля			Г	АШ	К1

Таблиця 3.2

Матриця планування експериментів

№	x_1	x_2	x_3	x_4	X_5
1	4	0.00007	0,2	20	0,1
2	4	0,00007	0,2	20	0,1
3	4	0,00007	0,2	20	0,1
4	10	0,00014	0,5	50	1,5
5	10	0,00014	0,5	50	1,5
6	10	0,00014	0,5	50	1,5
7	15	0.00030	1.0	150	3.0
8	15	0,0003	1.0	150	3.0
9	15	0,0003	1.0	150	3.0
10	4	0,00007	0,2	20	0.1
11	10	0,00014	0,5	50	1,5
12	15	0.00030	1.0	150	3
13	15	0,0003	1.0	150	3
14	10	0,00014	0.5	50	1,5
15	4	0,00007	0,2	20	0,1

Отримані експериментальні дані оброблювались з використанням загальноприйнятих статистичних методів. Перевірка статистичних гіпотез здійснювалася з імовірністю 95 %.

Експерименти проводились за наступними напрямками руху водяних струменів: за напрямком, проти напрямку і перпендикулярно напрямку повітряно-пилового струменя. При цьому досліджувався пил наступних марок вугілля: «Г», «АШ», «К1».

3.3. Експериментальне відпрацювання параметрів розпилювальної системи на полігоні НДІГС

З метою отримання вихідних даних для підготовки шахтних експериментів і написання рекомендацій з гідрознепилення за допомогою водяних завіс на полігоні НДІГС були проведені експериментальні досліди з визначення параметрів водяних завіс на основі запропонованих нових розпилювачів.

Експерименти проводились з метою: встановлення геометричних розмірів поодинокого водяного факелу в залежності від величини тиску перед форсункою; встановлення відстані між форсунками для повного перекриття перетину виробки.

Випробовувалися два типи форсунок- розпилювачів РТ-СЛ і РТ1.2-СЛ. Умови проведення випробувань представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Геометричні розміри факелу

Типорозмір	**Геометрічні розміри**		
	Діаметр прохідного розрізу, мм	**Тиск води в мережі, Мпа**	**Відстань між форсунками, мм**
РТ-СЛ	1,6	0,02-0,05	6
РТ - 1.2-СЛ	1,3	0,02-0,05	6

Для встановлення відстані, між форсунками, необхідної для повного перекриття поверхні щита проводились розрахунки виходячи з площі зрошення однієї форсунки. Після включення форсунок визначались геометричні параметри їхнього факелу за заданими величинами тиску води перед форсункою.

За результатами нагляду площі зрошення щита фіксували ширину і довжину факелу. Висота факелу замірялася за допомогою мірного шесту в найбільш високій точці траєкторії польоту водяного струменю. Точність замірів глибини і ширини склала: водяного факелу – 0,1м, висоти – 0,1м, точність відліку тиску за шкалою манометру – 0,01МПа. Результати виміру геометричних розмірів факелів наведені у табл. 3.4,3.5

Таблиця 3.4

Параметри водяного факелу під час роботи форсунки типу РТ-СЛ

Тиск перед розбризкувачем, МПа	**Глибина факелу, м**	**Ширина факелу, м**	**Висота факелу, м**
0,2	0,90	0,60	0,45
0,3	1,10	0,69	0,48
0,4	1,15	0,73	0,54
0,5	1,25	0,78	0,57
0,6	1,2,6	0,81	0,58
0,7	1,23	0,83	0,59
0,8	1,25	0,86	0,57
0,9	1,26	0,88	0,58
1	1,28	0,90	0,65

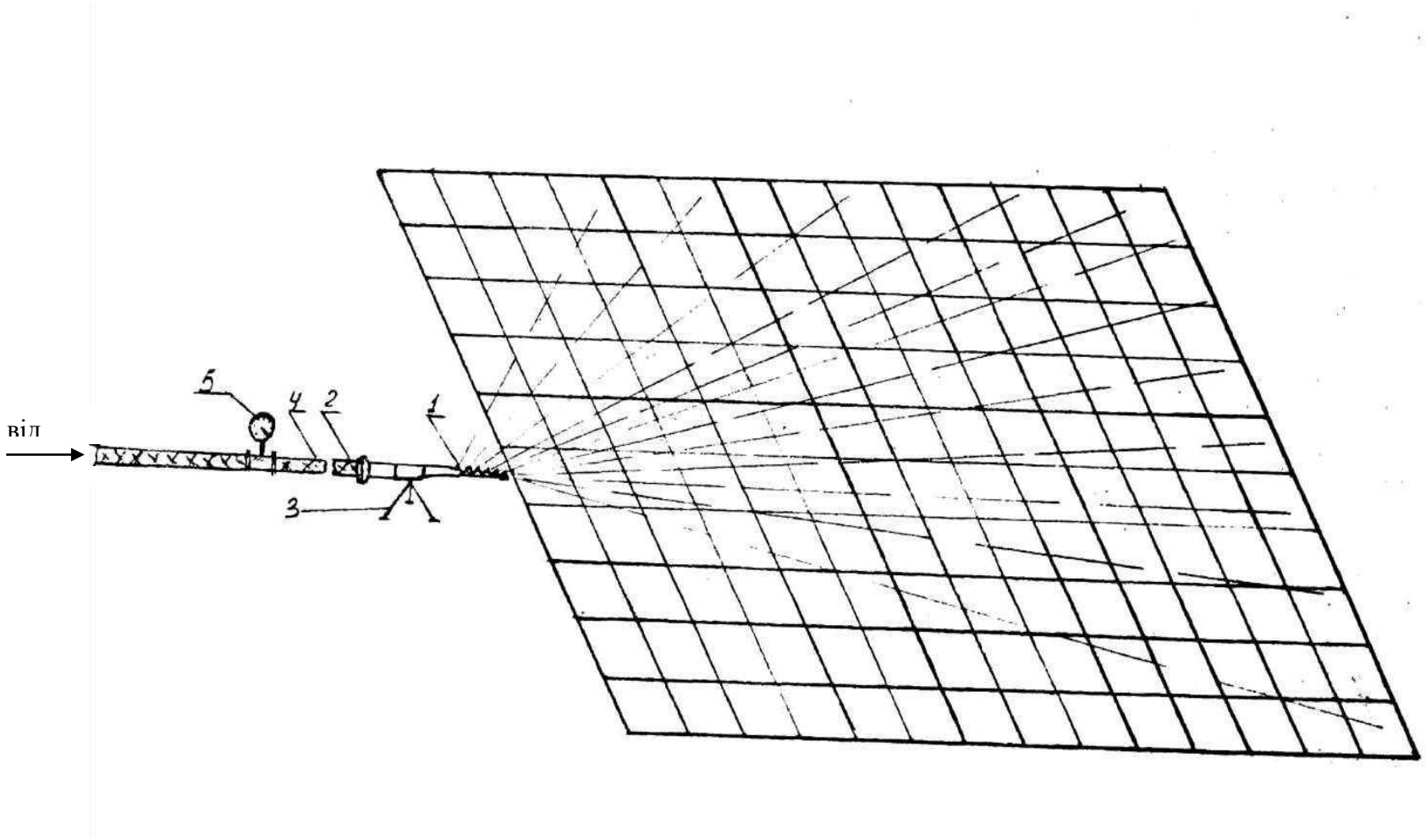


Рисунок 3.3. – Випробувальний щит

1. Випробувальна форсунка: 2. Швидкоз’ємне з’єднання; 3. Штатив: 4. Водяний рукав; 5. Манометр

Таблиця 3.5

Параметри водяного факелу під час роботи форсунки типу РТ1.2 -СЛ

Тиск перед розбризкувачем, МПа	Глибина факелу, м	Ширина факелу, м	Висота факелу, м
0,2	0,70	0,50	0,40
0,3	0,73	0,55	0,45
0,4	0,78	0,59	0,47
0,5	0,83	0,64	0,50
0,6	0,87	0,67	0,55
0,7	0,90	0,70	0,58
0,8	0,92	0,72	0,60
0,9	0,93	0,74	0,65
1,0	0,95	0,75	0,68

Як виходить з даних таблиць 3.4 и 3.5 підвищення тиску перед форсунками призводить до збільшення довжини, глибини і ширини факелу.

Параметри водяного факелу, форсункою типу РТ-СЛ, перевищують відповідні показники форсунки типу РТ 1,2 –СЛ. Під час сукупної роботи двох послідовно розташованих форсунок відмічається збільшення глибини сумарного факелу. Оптимальна відстань між двома послідовно розташованими форсунками (за якої не відстежується розриву відносної суцільності сумарного факелу) знаходиться в проміжку 0,5 – 0,6 м.

Щільність водяних факелів визначалася за методикою НДІГС. При цьому визначалися:

- щільності заповнення факелв розпиленої води у поперечних перетинах на різноманітних відстанях від форсунки;

- зміни щільності заповнення факелів розпиленої води за їхньою довжиною в залежності від тиску води перед форсунками;

- щільності заповнення сумарного факелу розпиленої води в поперечних перетинах на різноманітній відстані від паралельних і одночасно працюючих декількох форсунок;

- зміни щільності заповнення сумарного факелу розпиленої води за його довжиною в залежності від тиску води перед паралельно встановленими одночасно працюючими декількома форсунками.

3.4. Умови проведення експериментів на водомірному щиті

Для визначення щільності водяних факелів встановлювався водомірний щит 1 (рис.3.4,а). Форсунки розташовувалися на тринозі.

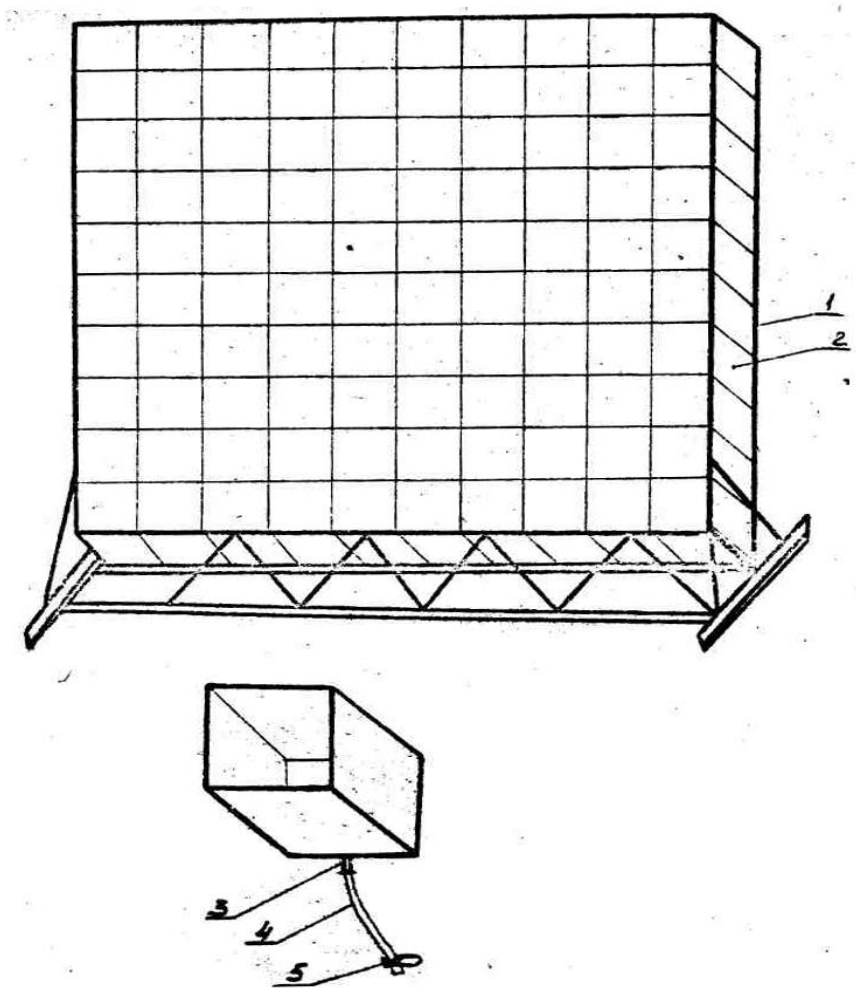
Водомірний щит (рис.3.4, а, б) складався з вертикальної металевої рами 1, на якій кріпляться мірні банки 2. Кожна банка обладнується в нижній своїй частині штуцером 3, на якому закріплюється водовідвідна гумова трубка 4, перетиснута на час експерименту затискачем 5. Замір кількості води в банці виконується за допомогою мірної посудини 6.

Схема розміщення розбризкувачів перед водомірним щитом в процесі дослідження зображена на рис.3.5. При цьому форсунки досліджувалася за схемами 1, 2 і 3.

Під час проведення випробувань форсунок з метою визначення щільности водяних факелів і розбризкувачів, закріплених перед водомірним щитом, подавалася вода від насосу. Заповнення банок розпиленою водою відбувалося протягом 10-15 сек.

Точність замірів відстані між працюючим розбризкувачем і водомірним щитом – 1см, точність відліку тиску за шкалою манометра – 0,1 кгс/см^2, точність заміру води посудинами – 1см^3.

а)



б)

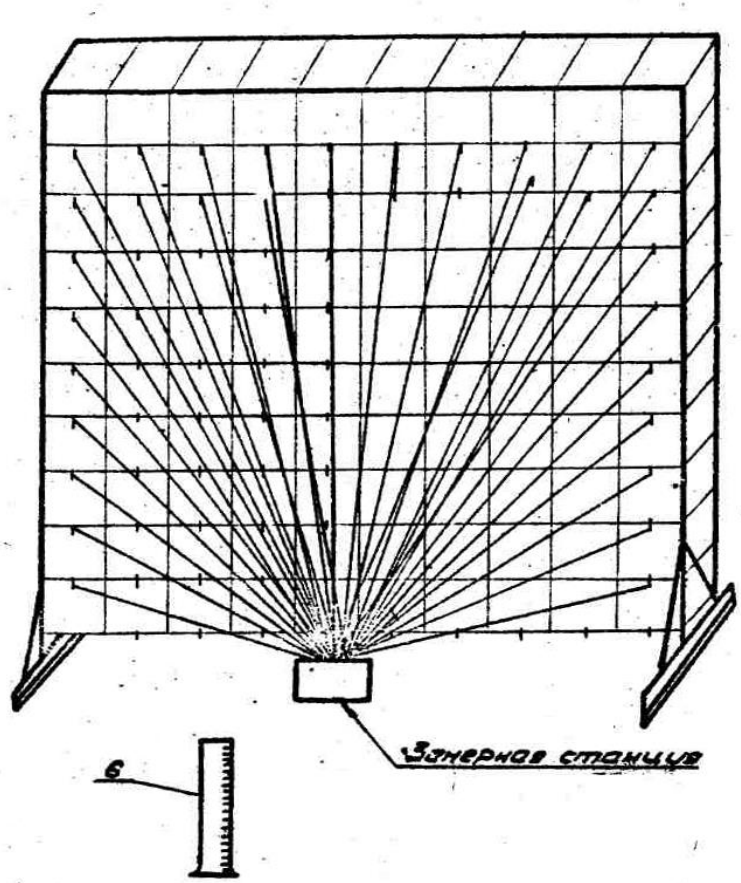


Рисунок 3.4 – Замірні станції: а) схема розташування замірних станцій, б) замірна станція

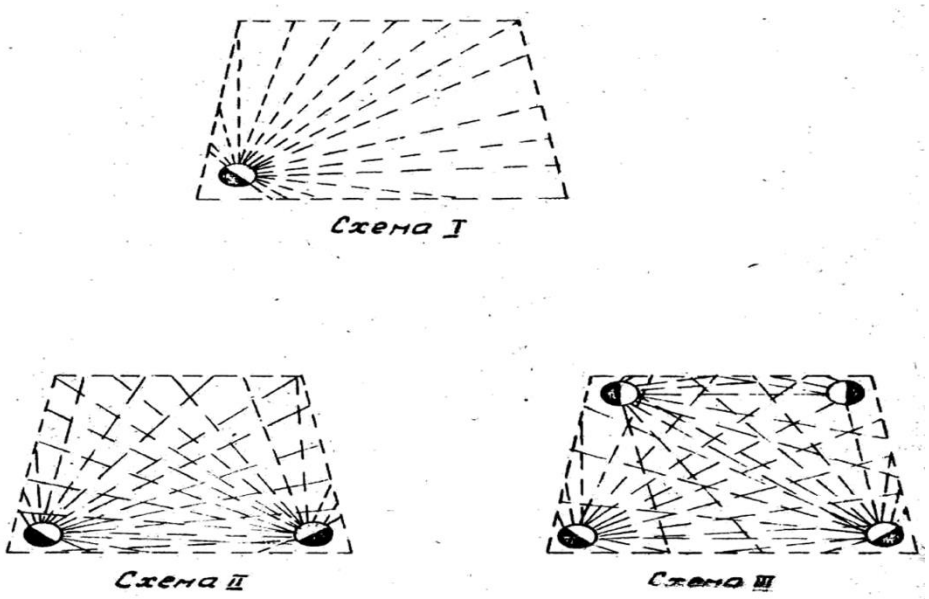


Рисунок 3.5 — Схеми розташування форсунок

3.5. Методика обробки дослідних даних

Щільність водяного факелу в загальному випадку обчислювалася за відомими формулами:

$$\rho = 3.6\frac{\alpha}{\tau\ S} \tag{3.5}$$

де τ – час дії форсунки, сек.; S – сумарна площа одного ряду банок, рівна 0,9м^2; α – сумарний об'єм води, яка випала на площі S, м^3;

В дослідах приймався час дії розбризкувачів – 15сек.

В результаті підстановки до формули 3.5 числових значень τ і S отримана розрахункова формула для визначення щільності водяних факелів розбризкувачів для прийнятих умов експеримента.

$$\rho=267\cdot10^{-6}\cdot\alpha\ м^3/год.\ м^2 \tag{3.6}$$

Дані з обчислення щільності водяного факелу наведені у таблиці 3.6, за якою h – означає висоту розташування центрів площ S розмірами 0,3х3,0 м кожна над рівнем вісі розбризкувачів.

Таблиця 3.6

Дані про щільність водяного факелу

ℓ = 0, 5м, Р = 0,1 МПа: для 4 форсунок				
h,м	Форсунки типу РТ-СЛ		Форсунки типу РТ 1.2 –СЛ	
	α, см	ρ, $м^3/год.м^2$	α, см	ρ, $м^3/год.м^2$
2,55	675	0,172	2109	6565
2,25	715	0,19	2860	0,76
1,95	855	0,23	2655	0,71
1,65	770	0,206	2220	0,59
1,35	640	0,17	1435	0,383
1,05	440	0,117	1655	0,442
0,75	290	0,078	1095	0,293
0,45	190	0,051	570	0,152
0,15	110	0,029	257	0,0685

Як виходить з таблиці 3.6 графік (рис.3.7) розподілу щільності водяних факелів за висотою водомірного щита – під час роботи форсунок типу РТ1,2-СЛ (крива 2), типу РТ-СЛ (крива 1), максимальна щільність завіси, яка створена за допомогою форсунок складає 0,7 $м^3$/год.$м^2$ на висоті 2,15 м. Для форсунок типу РТ 1,2 СЛ ці величини відповідно дорівнюють 0,23 $м^2$/год.$м^2$ і 1,85м.

На рис. 3.6 побудована крива 3, яка представляє собою графік зміни щільності на висоті розрізу суміщених факелів під час роботи шести форсунок типу РТ-СЛ за їх розташування двома рядами один над іншим на відстані 0,5 м між ними по висоті 1 метр. Під час побудови кривої 3 використані ординати згладженої кривої 2). У цьому випадку щільність розподілу води за розрізом виробки виявляється більш рівномірною, ніж під час роботи чотирьох форсунок типу РТ-СЛ (так при висоті 2,2-2,4м над рівнем встановлення нижнього розбризкувача відмічається найбільша щільність, рівна 1,04 $м^3$/год.$м^2$). Ці дані використовувалися під час проведення шахтних досліджень.

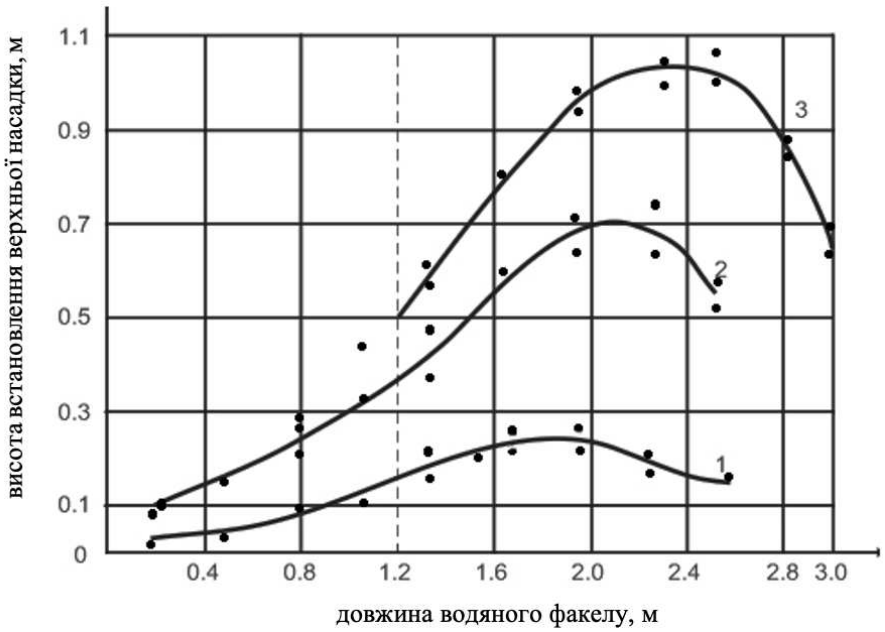


Рисунок 3.6. – Розподіл щільності водяних факелів (ρ, $м^3/год.м^2$) під час роботи форсунок типу РТ1,2-СЛ (крива 2), типу РТ-СЛ (крива 1) за розрізом виробки. Крива 3 відповідає зміні щільності зрошення під час роботи шести форсунок типу РТ-СЛ

Висновки до третього розділу

1. Розроблена і виготовлена унікальна експериментальна установка з визначення параметрів пилопригнічення за допомогою традиційних та нових засобів пилопригнічення.

2. Розроблена програма і методика лабораторних досліджень і шахтних випробувань.

3. Виконаний розрахунок і представлена матриця необхідної кількості експериментів з використанням сучасних методів математичного планування.

4. Проведена повірка і тарування експериментального обладнання.

5. Отриманий розподіл щільності водяних факелів під час роботи форсунок типу РТ 1,2-СЛ, типу РТ-СЛ за перетином виробки, що дозволило визначити необхідну кількість форсунок для шахтних випробувань.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЛАБОРАТОРНІЙ УСТАНОВЦІ В УМОВАХ ШАХТ

4.1 Результати лабораторних досліджень і порівняння їх із розрахунковими величинами

Під час проведення лабораторних досліджень, як вже відмічалось у методиці, використовувались різноманітні типи розпилювачів (ФТ-СЛ -1, РТ-СЛ і РТ 1.2-СЛ) з однією форсункою і з декількома типовими форсунками КФ і ПФ. Крім того, змінювався напрямок факелу: вздовж вентиляційного потоку, перпендикулярно до нього і проти потоку. Швидкість вентиляційного потоку дорівнювала 2,5 м/с, а в останній серії експериментів швидкість змінювалась від 2,3 м/с до 4 м/с. Площа поперечного перетину вентиляційного потоку склала S = 0,8·0,8 = 0,64 м^2. Витрата повітря за швидкості 2,5 м/с дорівнювала Q_0 = 1,6 м^3/с. Продуктивність однієї форсунки на розпилювачі ФТ знаходилась у межах $q_ф$ = 0,09 – 0,1 кг/с, а на розпилювачах РТ і РТУ коливалась від 0,07 кг/с до 0,1 кг/с. Таким чином, концентрація рідини у вентиляційному потоці в чотирьох серіях експериментів складала $Z_0 = q_ф/Q_0$ = 0,04 – 0,06 кг/м^3, а в останній серії експериментів коливалась за рахунок зміни витрати повітря від 0,03 кг/м^3 до 0,055 кг/м^3. Глибина факелу l розпилювача ФТ доходила до 0,9 м, а розпилювачів РТ і РТУ складала l = 0,9 – 1,2 м за тисків 0,2 – 0,5 МПа і середніх діаметрів крапель рідини $d_к = 2\cdot10^{-4}$ м. Початкова концентрація пилу знаходилась у межах C_1 = 300 – 370 мг/м^3.

Для порівняння експериментальних даних із розрахунковими даними використовувалася формула (2.68), приведена до вигляду

$$C = C_1 \exp\left[-\frac{1{,}5nl}{\rho d_k} \frac{q_ф}{Q_0} \{ \frac{e_0 k_ф S_ф}{S} + \frac{(e_{гр} + e_э)h}{kl} \} \right], \qquad (4.1)$$

де n – кількість форсунок; l – довжина факела, м; ρ – щільність води (прийнята рівною 1000 кг/м^3) ; d_k – середній діаметр крапель рідини, м; e_0 – коефіцієнт захоплення часток пилу краплями рідини (прийнятий рівним 1); $k_ф$ – коефіцієнт заповнення диспергованою рідиною об'єма виробки в активній зоні дії факела [5] (прийнятий рівним 1); $S_ф$ – площа, яка перекривається потоком розпиленої рідини на кінці глибини факелу (прийнята рівною S), м^2; $e_{гр}$ – коефіцієнт захоплення під час дії гравітаційних сил; $e_э$ – коефіцієнт захоплення під час дії електростатичних сил; k – коефіцієнт неравномірного розподілу крапель рідини за висотою; h – висота виробки чи канала (прийнята рівною 0,8м).

На рис. 4.1 представлені результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) під час роботи різноманітних типів розпилювачів з однією форсункою в напрямку вентиляційного потоку.

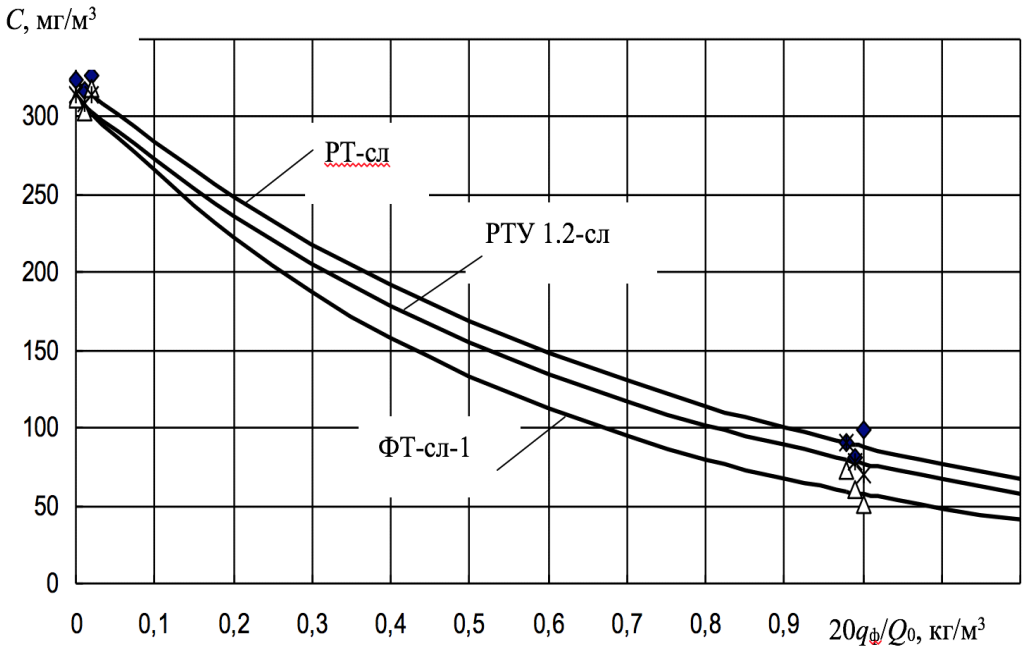


Рисунок 4.1. – Результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) під час роботи різноманих типів розпилювачів з однією форсункою в напрямку вентиляційного потоку.

Обробка даних за методом найменших квадратів показала, що за факелів, направлених за потоком, емпірічні коефіцієнти, як множники перед концентрацією Z_0 у формулі (4.1), для розпилювачів РТ, РТУ і ФТ відповідно дорівнюють 1,3; 1,4 и 1,7. Це дало можливість визначити сумарний коефіцієнт захоплення при дії гравітаційних сил і електростатичних сил під час роботи факелів у напрямку вентиляційного потоку : $(e_{гр}+e_e)/k = a$ = 3,2; 3,5; 4,5.

На рис. 4.2 представлені результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) під час роботи різноманітних типів розпилювачів з однією форсункою перпендикулярно вентиляційному струменю.

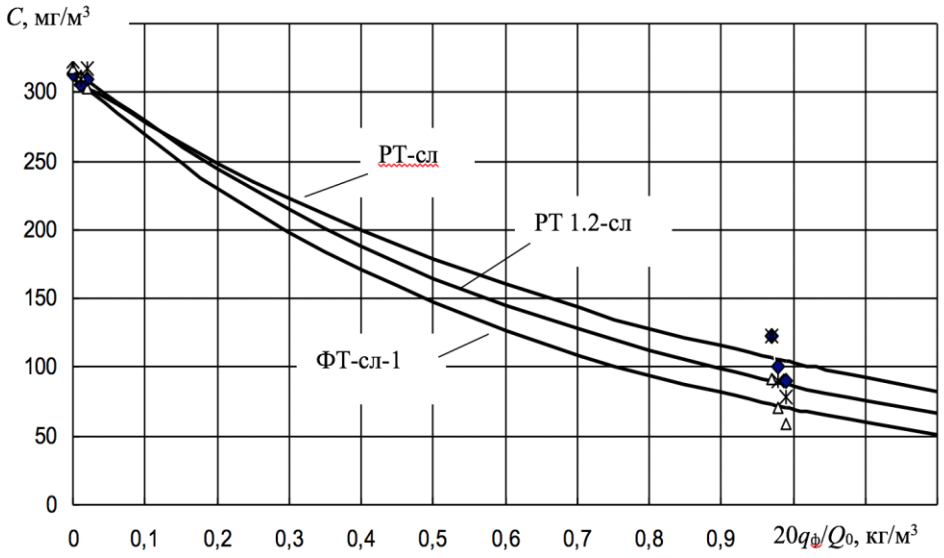


Рис. 4.2. Результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) при роботі різних типів розпилювачів з однією форсункою перпендикулярно вентиляйному струменю.

Обробка даних за методом найменших квадратів показала, що за факелів, направлених перпендикулярно струменю, емпірічні коефіцієнти, як множники перед концентрацією Z_0 в формулі (4.1), для розпилювачів РТ, РТУ і ФТ відповідно дорівнюють 1,1; 1,3 і 1,5. Це дало можливість визначити сумарний

коефіцієнт захоплення під час дії гравітаційних сил і електростатичних сил під час роботи факелів перпендикулярно вентиляційному струменю

$$(e_{гр}+e_{е})/k= a = 2,5; 3,2; 3,9.$$

На рис. 4.3 представлені результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) під час роботи різноманітних типів розпилювачів з однією форсункою проти вентиляційного струменю.

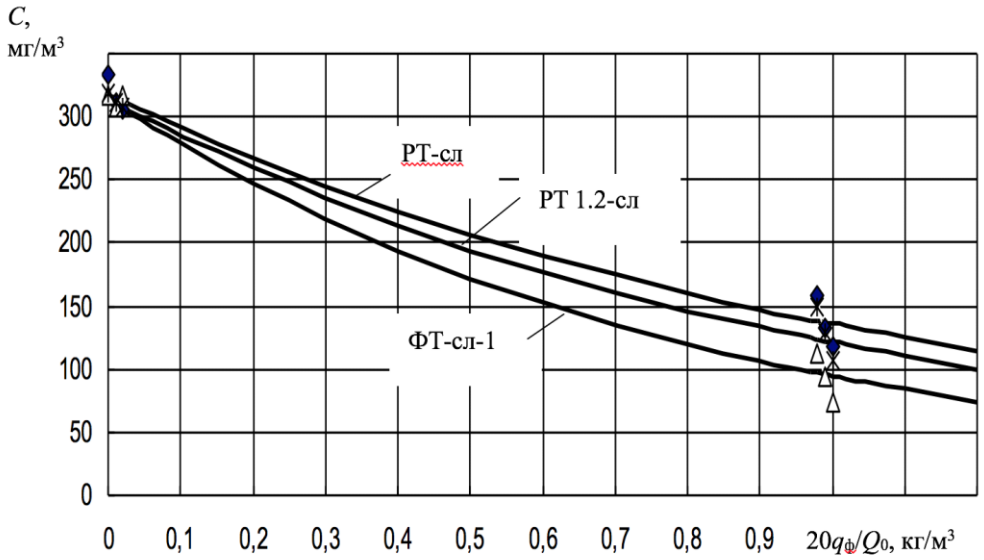


Рисунок 4.3. Результати порівняння розрахункових (криві лінії) і експериментальних даних гідрознепилення (маркери) під час роботи різних типів розпилювачів з однією форсункою проти вентиляційного струменю.

Обробка даних за методом найменших квадратів показала, що за факелів, направлених проти струменю, емпірічні коефіцієнти, як множники перед концентрацією Z_0 у формулі (4.1), для розпилювачів РТ, РТУ і ФТ відповідно дорівнюють 0,85; 0,95 і 1,2. Це дало можливість визначити сумарний коефіцієнт захоплення при дії гравітаційних сил і електростатичних сил під час роботи факелів проти вентиляцйного струменю

$$(e_{гр}+e_{е})/k= a = 1,7; 2,0; 2,9.$$

Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший ефект гідрознепилення має місце за умов напрямку факелів за струменем, і найменший ефект, коли факели направлені проти струменю повітря.

На рис. 4.4 наведені результати порівнння розрахункової кривої з експериментальними даними гідрознепилення (крапки) під час роботи трьох розпилювачів РТУ-СЛ, одного розпилювача РТ1.2-СЛ за напрямком вентиляційного струменю.

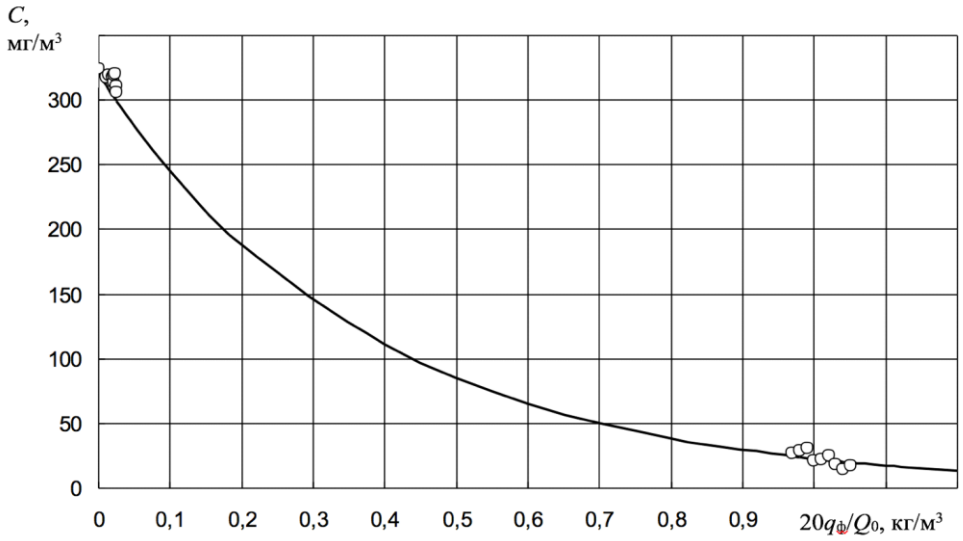


Рис. 4.4 Результати порівняння розрахункової кривої з експериментальними даними гідрознепилення (кружечки) при роботі трьох розпилювачів РТУ-СЛ і одного розпилювача РТ1.2-СЛ за напрямком вентиляційного струменю.

Обробка експериментальних даних показала, що ефективність гідрознепилення не прямо пропорційна кількості форсунок, а пов'язана залежністю $n(0{,}32 + 0{,}68/n) = 0{,}68 + 0{,}32n$

В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень запропонована зручна для практичних розрахунків ефективності формула:

$$C = C_1 \exp\left[-\frac{1{,}5(0{,}68 + 0{,}32n)l}{\rho d_k} \frac{q_\phi}{Q_0} \{0{,}9 + [3{,}3(a - 0{,}45\alpha/180) - 1{,}1]h/l\} \right] \quad (4.2)$$

де a – емпірічна константа (для розпилювачів РТ и РТУ a = 1,35, для розпилювачів ФТ a = 1,7; α – кут між напрямком факелу і віссю виробки чи канала, град.

Формула (4.2) перевірена на черговій серії експериментів з розпилювачами ФТ, РТ і РТУ за різних витрат повітря і співнаправленої з ним роботі форсунок. На рис. 4.5 представлені результати порівняння розрахункових і експериментальних даних.

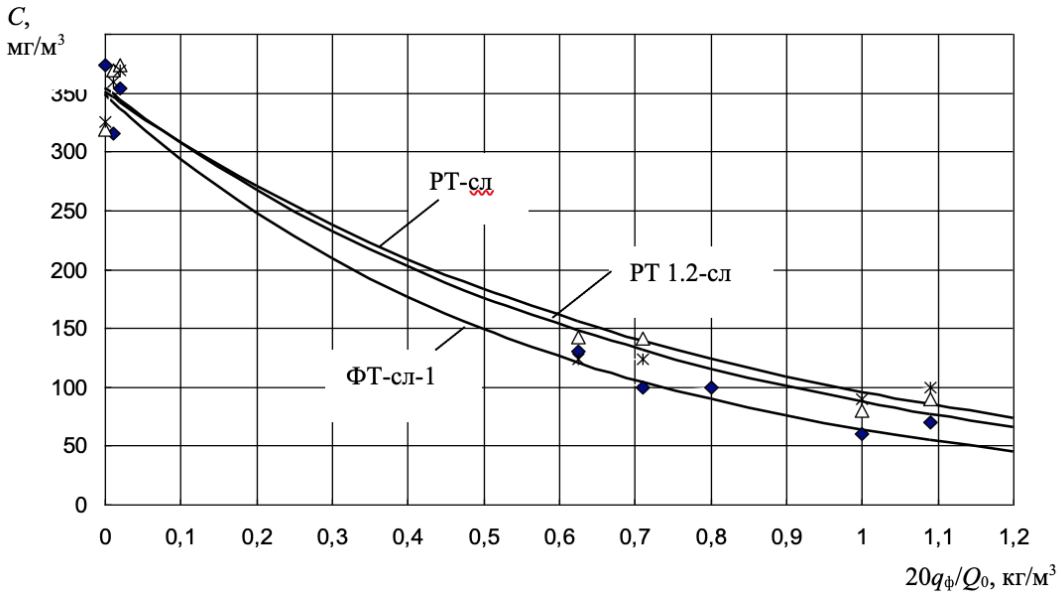


Рис. 4.5. Результати порівняння розрахункових даних за формулою (4.2) з експериментальними даними гідрознепилення за різних витрат повітря і роботі форсунок у напрямку вентиляційного потоку.

Таким чином, можна констатувати, що розрахункові дані задовільно сходяться з даними експериментів. Тому отримана залежність (4.2) може бути використана для практичних розрахунків.

4.2. Результати шахтних випробувань

У квітні 2014 року порівняльні випробування з перевірки ефективності роботи запропонованих розпилювачів проводилися на підприємстві «Шахта ім. Калініна» ДП «ДВЕК» у 2-й східній лаві ЦПУ пласту h_{10} «Лівенський».

Пласт h_{10} «Лівенський»: потужність пласту – 1,27м; кут падіння – 21-29°; зольність – 11-12%; довжина лави – 250 м.

Пласт h_{10} відпрацьовується за такою технологічною схемою: підготовка пласту – польова; система розробки – суцільна; спосіб управління покрівлею – повне обвалення; спосіб охорони: основних виробок – розташування виробок в развантаженій зоні; виїмкових виробок – породною смугою. Лава оснащена: механізованим кріпленням 2КД-90, конвейєром СПЦ-26, комбайном очисним РКУ-10 на рейці 1БСП. Виїмка вугілля здійснюється механізованими комплексами 2КД-90 і вузькозахватними комбайнами РКУ - 10 (1К-101). Кабелеукладач КЦН. Схема провітрювання Ш – образна з випуском вихідного струменя повітря по 2-му східному груповому вентиляційному штреку. Середньодобове навантаження на лаву – 840 т / добу.

При цьому запропонована система пилоподавлення підключалася до існуючої типової системи. Ефективність системи перевірялася в двох режимах:

- у першому режимі на комбайні працювала тільки типова система,
- у другому, підключалася додаткова нова система.

Вибір місця проведення випробувань визначався виходячи зі схеми відпрацювання лави і порядку відбору проб приладом «АЕРА».

Відбір проб повітря на запиленість проводився працівниками дільниці ВТБ шахти у 30 метрах від комбайна за ходом руху вентиляційного струменя. Працівники з приладом «АЕРА» переміщувалися за мірою пересування комбайна, утримуючи прилад на рівні 0,8-1.0 м від ґрунту виробки.

Ефективність боротьби з пилом із застосуванням запропонованих форсунок перевищила ефективність звичайних форсунок типу ПФ-0.5 більш, ніж у 6 разів. Результати вимірів запиленості повітря під час порівняльних випробуваннь представлені в таблиці 4.1.

Як виходить із таблиці, ефективність пилоподавлення з використанням запропонованих форсунок РТ 1,2-СЛ у 6 разів вище, ніж під час використання серійних розпилювачів типу ПФ і КФ.

Таблиця 4.1

Результати вимірів запиленості повітря під час роботи комбайна і різних режимах зрошення.

Точка виміру	**Характеристика режиму**	**Тиск води, МПа**	**Швидкість вентиляційного струменя, м/с**	**Запиленість повітря, мг/м^3**
Вентиляційний штрек, у 30 метрах від вікна лави	Зрошення на комбайні у справному стані, включено. Комбайн і конвеєри працюють. Порівняльні випробування проводяться в двох режимах.			
	Режим перший: пилопригнічення на пересипах і очищення вентиляційного струменя проводиться форсунками типу ПФ-0.5-165 і КФ - 2.2 -75	0.5	3.1	187.0
	Режим другий: пилопригнічення на пересипах і очищення вентиляційного струменя проводиться РТ 1,2 СЛ	0.5	3.1	**27.2**

У березні-квітні 2014 р. порівняльні випробування проводилися на шахті «Прогрес» ДП «Торезантрацит» у 10 південній лаві пласту h_8 «Фомінський» горизонту 1213 метрів.

Пласт h_8 «Фомінський»: потужність пласту – 1,42 м; кут падіння – 6-8 град довжина лави – 250 м. Пласт розробляється двома панелями – північною і південною. Система розробки комбінована і стовпова. В очисних вибоях виїмка вугілля здійснюється комбайнами РКУ10, кріплення – механізованими кріпленнями 2КД-90. Спосіб управління покрівлею – повне обвалення. Провітрювання в 10 південній лаві пласту h_8, прямоточне.

У таблиці 4.2. представлені дані приймальних випробувань пристроїв розпилення під час роботи комбайна РКУ-10, проведених на шахті «Прогрес»

Таблиця 4.2.

Результати вимірів запиленості повітря в 10 південній лаві пласту h_8 «Фомінський» горизонту 1213 м під час роботи комбайна РКУ-10 із заводською системою пилоподавлення і запропонованими розпилювачами

Точка виміру	**Характеристика режиму**	**Дата**	**Тиск води, МПа**	**Швидкість повітряного струменя, м/с**	**Запиленість мг/м^3**	
					працює заводсь-ке зрошення	**працює тонкодис-персний розпилювач типу РС і заводське**
10 м від вікна лави з боку вентиляційного штреку	Працює заводське зрошення «під зубок». Виміри проводяться двома приладами ВЗША	10.03.14	1.5	3.9	136	22.3
		17.03.14	1.2	4.1	146	19.7
		25.03.14	1.8	3.7	127	11.3
		06.04.14	1.4	4.0	115	14.8
		12.04.14	1.1	3.9	121	15.4
		17.04.14	1.7	4.2	115	14.3
		27.04.14	1.2	4.3	133	17.2

Як виходить із даних таблиці, під час спільного використання заводської системи пилопригнічення та розпилювачів типу РС ефективність пилоподавлення зростає в 6 разів. А рівні екологічного ризику на межі СЗЗ шахти 1) до й 2) після впровадження заходу, щодо зменшення виділення карбоновмісного пилу, згідно формули 1.1:

$$1)\ HQ_1=4{,}1/0{,}5=8{,}2 \qquad 2)\ HQ_1=0{,}95/0{,}5=1{,}9$$

знизилися з 8,2 до 1,9, що означає зміну ступеня екологічної небезпеки з «дуже небезпечний» на «слабко небезпечний», згідно табл. 1.1.

Протягом 2019-2020 р.р. результати дисертаційних досліджень апробовувались на шахтах ДП «Мирноградвугілля» «Капітальна» та «Відокремлений підрозділ «Шахта 5/6», а також ТОВ «Плисецький гранітний кар'єр». Довідки впровадження додаються (Додатки Б,В,Г).

На основі цих досліджень створені науково-обґрунтовані рекомендації щодо застосування в гірничих виробках вугільних шахт гідрознепилюючих водяних завіс із використанням розпилювачів типу РТ 1.2 - СЛ; РТ-СЛ, ФТ-СЛ1 та зрошувального устаткування РТУ-СЛ, які викликали певну зацікавленість науково-впроваджувальної фірми «ГЕОТЕХНОЛОГІЯ», акт впровадження додається (Додаток А).

Висновки до четвертого розділу

1. В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень запропонована зручна для практичних розрахунків залежність ефективності гідрознепилення, що дозволяє враховувати параметри крапель, а також кількість розпилювальних форсунок і їх тип.

2. Аналіз отриманих результатів показує, що найбільший ефект гідрознепилення має місце при направленні факелів розпиленої води за ходом вентиляційного потоку, і найменший ефект, коли факели спрямовані проти струменю повітря.

3. Обробка експериментальних даних за методом найменших квадратів показала, що при факелах, спрямованих перпендикулярно струменю, емпіричні коефіцієнти, як множники перед концентрацією Z_0 у формулі (4.1), для розпилювачів типу РТ, РТУ і ФТ відповідно рівні 1,1; 1,3 і 1,5. Це дало можливість визначити сумарний коефіцієнт захоплення при дії гравітаційних і електростатичних сил під час роботи факелів перпендикулярно вентиляційного потоку.

4. Проведені натурні випробування на шахтах Донбасу показали високу ефективність запропонованих форсунок та підтвердили доцільність їхнього використання.

РОЗДІЛ 5 НАУКОВО-ОБҐРУНТОВАНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ГІДРОЗНЕПИЛЕННЯ ПОВІТРЯ В ЗАБОЯХ ТА ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБКАХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ УМОВ БІЛЬШ ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА І ЗМЕНШЕННЯ ШКОДИ ДОВКІЛЛЮ

Карбоновмісний пил є джерелом забруднення довкілля, а також негативно впливає на екологію місцевості вуглевидобувних регіонів, біоту та здоров'я людини. Крім того у даний час на шахтах України карбоновмісний пил залишається основним джерелом професійних захворювань шахтарів і причиною вибухів газопилоповітряних сумішей. Сам процес пилопригнічення є складною науковою і прикладною задачею. Для вирішення зазначеного завдання в Україні і за кордоном проводяться численні теоретичні та експериментальні дослідження з гідрознепилення гірничих виробок за рахунок зрошення розпиленою водою. Дослідження в цьому напрямку доведені до науково-обґрунтованих нормативних документів, які впроваджені і дозволяють здійснювати на вугільних шахтах заходи щодо пилопригнічення, попередження викидів карбоновмісного пилу у атмосферу, та вибухів пилоповітряних сумішей.

Однак існуючі способи і засоби гідрознепилення у переліку випадків не забезпечують зниження запиленості повітря до санітарних норм. Однією з причин цього було недостатня вивченість процесів взаємодії крапель диспергованих водних потоків з частками завженого карбоновмісного пилу, що не дозволяє встановити науково-обґрунтовані параметри і розробити ефективні засоби гідрознепилення.

Дані «Рекомендації ...» розроблені на основі узагальнення останніх досліджень в цьому напрямку, виконаних ДонНТУ, МакНДІ, НДІГС (Респіратор), з урахуванням багаторічного експлуатаційного досвіду

застосування розпилювачів типу СЛ та їх модифікацій на багатьох шахтах Донбасу.

Дані «Рекомендації ...» є доповненням до «Інструкції з комплексного знепилювання повітря» [137] і можуть бути використані працівниками шахт під час вибору засобів боротьби з пилом, що забезпечують найбільшу ефективність пилопригнічення під час технологічних процесів із високою категорією запиленості.

5.1. Загальні положення

Сутність гідрознепилення зрошенням полягає в тому, що водний аерозоль, отриманий за допомогою розпилювачів, форсунок, зрошувачів, спрямовується в зону утворення і надходження пилу. Частки пилу, зважені в повітрі, стикаються з краплями води, уловлюються останніми і під дією сили ваги та інерції осідають. Пил, який не піднявся у повітря, змочується розпиленою водою.

«Рекомендації ...» містять вказівки щодо застосування ефективних засобів гідрознепилення під час основних найбільш пилоутворюючих процесів вуглевидобутку.

Відцентрово-струменевий розпилювач РТ 1,2-СЛ і відцентрова об'ємна форсунка ФТ-СЛ-1 рекомендуються для застосування в очисних і підготовчих вибоях із високою категорією запиленості технологічних процесів в якості додаткових до систем зрошення комбайнів.

Для боротьби з пилом на пересипах шахтних конвеєрів та в місцях навантаження і перевантаження вугілля призначені зрошувальна установка РТУ-СЛ і спеціальний зрошувальний пристрій.

Зазначені технічні засоби гідрознепилення пройшли приймальні випробування і характеризуються високою ефективністю пилопригнічення та надійністю експлуатації.

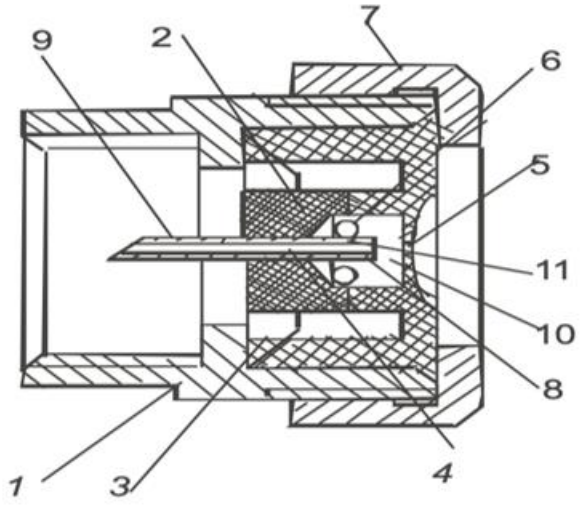
Рекомендовані до застосування технологічні способи гідрознепилення досить прості у виконанні, не вимагають спеціального обладнання та приладів і можуть використовуватися у технологічних схемах і системах пилопригнічення, що застосовуються на шахтах.

З метою підвищення ефективності гідрознепилення рекомендується додавати до води різні змочувачі — поверхнево-активні речовини ПАР, що серійно випускаються в Україні.

Для дозування ПАР слід застосовувати дозатор типу ДСУ-4 [2, 3].

5.2. Засоби і технологічні схеми пилопригнічення

Відцентрово-струменевий розпилювач РТ 1,2-СЛ рекомендується застосовувати в очисних вибоях з підвищеним рівнем запиленості на очисних комбайнах з системами зовнішнього зрошення, а в механізованих лавах також як засіб боротьби з пилом під час пересування секцій кріплення. Конструктивне виконання розпилювача наведено на рис.5.1.



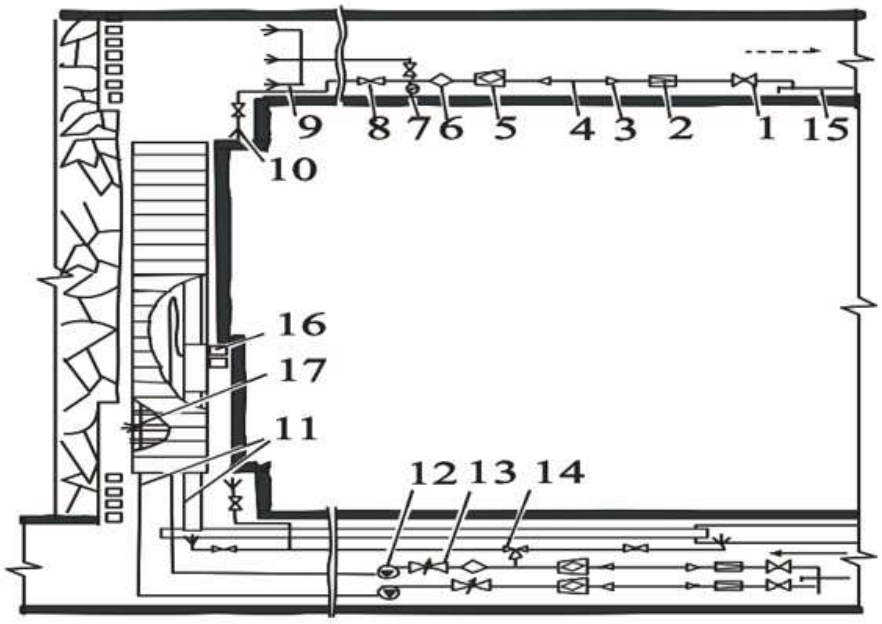
1 - корпус; 2 - завихрувач; 3 - камера осідання; 4 - вісьовий канал;
5 - вихідний отвір; 6 - тангенціальні канали; 7- опорна шайба; 8 - циліндричний виступ;
9-вкладиш із косим зрізом; 10 - камера завихрення; 11 - канавка вкладишу.

Рисунок 5.1. – Розпилювач відцентрово-струменевий РТ 1,2-СЛ.

Відцентрово-струменевий розпилювач РТ 1,2-СЛ формує суцільний конусний факел диспергованої води з різним ступенем розпилення: за конусом від 250 до 190 мкм, у центрі 270-320 мкм.

Висока ефективність пилоподавлення із застосуванням відцентрово-струменевого розпилювача РТ 1,2-СЛ досягається за рахунок створення факела води з різним ступенем розпиленості. При цьому вирішується завдання підвищення його експлуатаційної надійності за рахунок зниження частоти засмічення отворів і каналів розпилювача механічними домішками.

Можливий варіант технологічної схеми пилопригнічення зрошенням з використанням розпилювачів РТ 1,2-СЛ наведено на рисунку 5.2.



1 - вентиль фланцевий; 2 -клапан редукційний; 3 - перехідник; 4 - рукав напірний; 5 - фільтр штрековий; 6 - дозатор змочувача; 7 - манометр; 8 - кран прохідний муфтовий; 9 - водяна завіса; 10 - форсунка; 11 - водопровід забійний; 12 - насосна установка; 13 - вентиль електромагнітний; 14 - кран триходовий муфтовий; 15 - штрековий трубопровід; 16 і 17 - зрошувальні системи комбайна і кріплення з використанням розпилювачів РТ 1,2-СЛ; 18 - автоматичне секційне зрошення.

Рисунок 5.2. – Технологічна схема пилопригнічення зрошенням з використанням розпилювачів РТ 1,2-СЛ під час виїмки пологого пласту механізованим комплексом.

В активній зоні факелу доцільно застосовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони встановлювати додатково туманоутворюючу завісу в 5 – 10 м від першого факела для достягнення максимальної ефективності гідрознепилення.

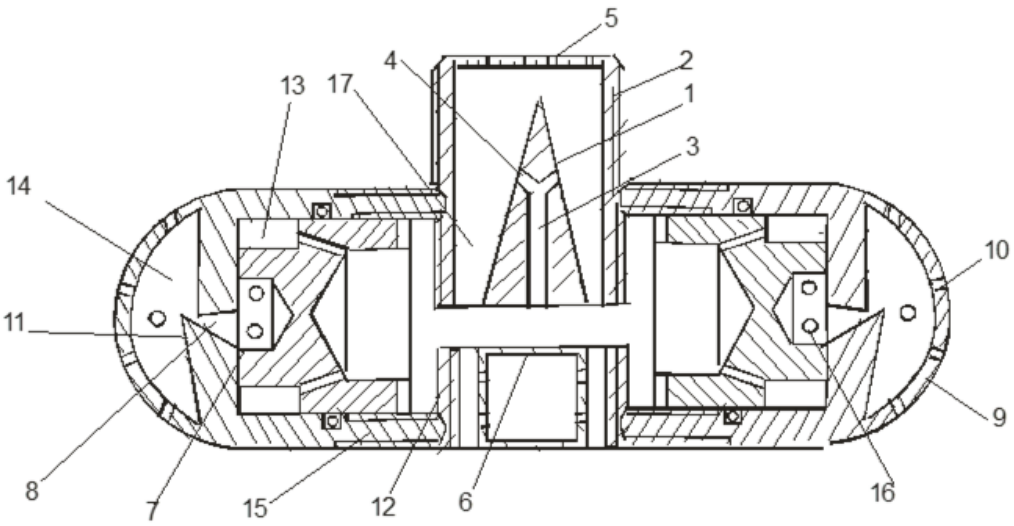
Подавання води до зрошувальних пристроїв виїмкових машин і механізованого кріплення повинна здійснюватися за окремими трубопроводами з незалежним включенням зрошувальних насосів.

Відцентрова об'ємна форсунка ФТ-СЛ-1 для гідрознепилення в підготовчих виробках

Відцентрова об'ємна форсунка ФТ-СЛ-1 з факелом розпилення 150-220 мкм призначена для створення водяних завіс з тонкодисперсних суцільних факелів розпиленої води. Пилопригнічення з використанням форсунки ФТ-СЛ-1 рекомендується застосовувати на прохідницьких комбайнах в поєднанні з розпилювачем РТ 1,2-СЛ, в підготовчих забоях за комбайном і на вихідних струменях з комбінованою схемою провітрювання.

Форсунка ФТ-СЛ-1 має дві пари послідовно розташованих камер завихрення, з'єднаних між собою вхідним каналом, і двох завихрувачів води із дзеркально розташованими сферичними соплами. Внутрішня сферична поверхня сопел виконана зі зміщенням центру системи у вигляді евольвенти обертання з загостреними кутами, утворюючи тим самим другу камеру завихрення, яка формує суцільний факел розпилення. Для захисту від механічних домішок у корпусі встановлений конусний фільтр-вкладиш із двома вхідними отворами на його поверхні.

Конструкція об'ємної відцентрової форсунки ФТ- СЛ-1 показана на рис.5.3.



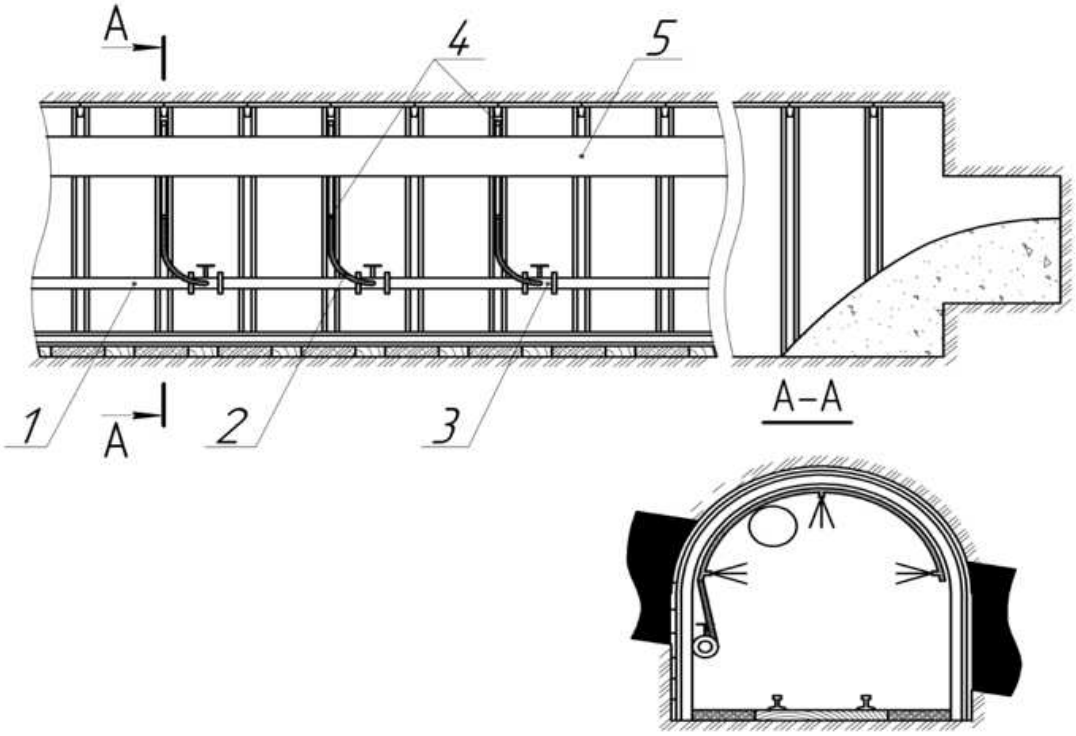
1 - фільтр-вкладиш конусний; 2 - корпус фільтра-вкладиша; 3 - внутрішній канал фільтра-вкладиша; 4 вхідний отвір фільтра-вкладиша; 5 - сітка фільтра-вкладиша; 6 - вхідний канал; 7 - завихрувач; 8 - вихідний отвір; 9 - сферичне сопло; 10 - отвір сферичного сопла; 11 - внутрішня поверхня сферичного сопла; 12 - кільцеве опорний виступ; 13 - перша камера завихрення; 14 - друга камера завихрення; 15 - порожнистий циліндричний корпус; 16 - тангенціальний канал; 17 - порожнина фільтра-вкладиша.

Рисунок 5.3. – Об'ємна відцентрова форсунка ФТ-СЛ-1

Переваги створення водяних завіс із застосуванням форсунки ФТ-СЛ-1 полягають у підвищенні ефективності боротьби з пилом під час очищення вентиляційного струменя повітря, зменшення витрат води, високої надійності і ремонтопридатності системи пилопригнічення.

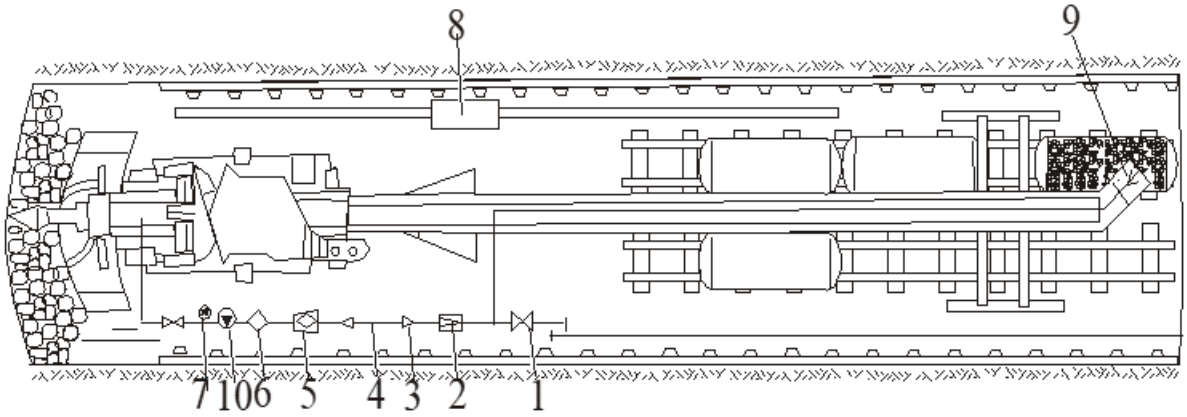
Варіант технологічної схеми пилопригнічення із застосуванням форсунок ФТ-СЛ-1 та водяних завіс ВЗ-1 представлений на рисунку 5.4.

Варіант технологічної схеми пилопригнічення із застосуванням форсунок ФТ-СЛ-1 при комбайновому проведенні підготовчої виробки наведено на рисунку 5.5.



1 – дільничний водопровід; 2 – напірний рукав Ø 25 мм; 3 – вентиль; 4 – форсунка типу ФТ-СЛ-1; 5 – вентиляційна труба; 6 – насос; 7 – фільтр; 8 – манометр; 9 – зрошувальна завіса; 10 – водозбірник.

Рисунок 5.4. Схема очищення від пилу вентиляційних струменів за допомогою водяної завіси типу ВЗ-1 та форсунок ФТ-СЛ-1



1 - вентиль фланцевий; 2 - клапан редукційний; 3 - перехідник; 4 - рукав напірний; 5 - фільтр штрековий; 6 - дозатор змочувача; 7- манометр; 8 - пиловловлювач; 9 - водяна завіса; 10 – форсунка

Рисунок 5.5 – Технологічна схема пилопригніченя із застосуванням форсунок ФТ-СЛ-1 при комбайновому проведенні підготовчої виробки.

Відмінною особливістю зрошувальної установки РТУ-СЛ, призначеної для локалізації і осадження пилу під час транспортування і перевантаження вугілля конвеєрами, є можливість підтримування необхідної відстані від розпилювачів до поверхні вугілля при зміні товщини його шару і оконтурювання зони пилоутворення суцільними тонкодисперсним водними факелами.

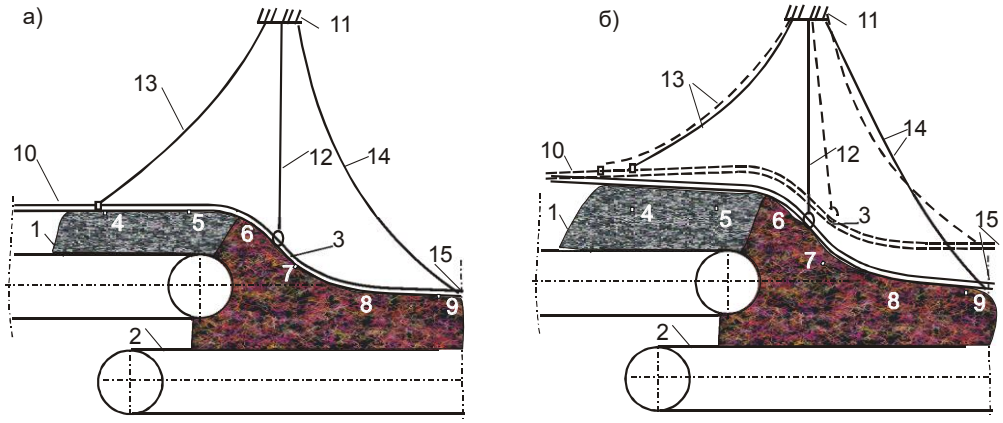
Основним конструктивним елементом установки є колектор, виготовлений з металевої безшовної труби діаметром 20 мм і довжиною 2000 мм, вигнутою формою джерела пилоутворення. На колекторі послідовно встановлені відцентрові конусні тонкодисперсні розпилювачі, на відстані один від одного, при якому забезпечується перекриття зони пилоутворення суміжними водяними факелами розпилення. Колектор шарнірно закріплений на гнучкій підвісці з пружини стиснення і з'єднаний з реактивним переміщуваним пристроєм, який змінює відстань від розпилювачів до поверхні вугілля при зміні товщини його шару. Установка забезпечена додатковим пристроєм очищення води від механічних домішок, регулятором тиску води і пристроєм синхронізації з пультом управління роботою конвеєрів клапана включення-відключення води.

Конструктивне виконання зрошувальної установки РТУ-СЛ під час транспортування і перевантаження вугілля стрічковими конвеєрами наведено на рисунку 5.6.

На рисунку а показано положення колектора за умов не завантажених верхніх і нижніх конвеєрних стрічках, вода до колектора 3 не подається. Колектор 3 підтримується реактивним переміщуючим пристроєм у стані нестійкої рівноваги з вертикальним положенням гнучкої підвіски 12 і вільно провисаючим становищем контрольних тросів 13, 14.

На рисунку б схематично зображено два положення зміщення колектора: на першому – стрічка верхнього подаючого конвейєра завантажена, а нижнього не

завантажена; на другому – стрічки верхнього виходу та нижнього приймального конвеєрів завантажені.



1 - стрічка верхнього подаючого конвеєра; 2 - стрічка нижнього подаючого конвеєра; 3 - колектор; 4, 5, 6, 7, 8, 9 - відцентрові розпилювачі; 10 - гнучкий рукав високого тиску для подачі води до вхідного штуцера колектора; 11- елемент кріплення гірничої виробки; 12 - гнучка підвіска з пружини стиснення; 13, 14- контрольні троси, що обмежують зсув колектора; 15 - зливний кран.

Рисунок 5.6 - Схема зрошувальної установки РТУ-СЛ для пилоподавлення при транспортуванні і перевантаженні вугілля стрічковими конвеєрами.

Стрічка верхнього подаючого конвеєра завантажена гірничою масою. Лінія завантаження знаходиться від поверхні стрічки 1 на відстані близько 250 мм. Нижній конвеєр 2 не завантажений. Сили імпульсу розпилювачів 4, 5 відповідно до завантаження конвеєра дорівнюють нулю, а зі зміною відстані від сопла розпилювача до лінії завантаження отримують величину імпульсу. Під час дії сили реакції на верхню частину колектора 3 до центру його шарнірної підвіски відбувається його зміщення над рівнем лінії завантаження зі збереженням відстані 600 мм від сопла зрошувачів 4, 5 до лінії завантаження. Обмежує зсув колектора контрольний трос 13 провисне, а трос 14 натягнеться, утримуючи нижню частину колектора 3 від центру його шарнірної підвіски на відрегульованому рівні від стрічки конвеєра 2, утримуючи верхню частину колектора на заданій відстані 600 мм від сопла розпилювачів 4, 5 до лінії

завантаження. Таке розміщення колектора 3 по відношенню до стрічок конвеєра 1 і 2 надає можливість подати в зону максимального завантаження факели розпилювачів 6 і 7, в той же час, локализовуючи залишковий пил розпилювачами 8 і 9.

Аналогічно відбувається зміщення колектора 3 і в інших ситуаціях відповідно до наявності і відсутності завантаження конвеєрних стрічок. Наприклад, в разі завантаження стрічки верхнього конвеєра 1 і Пересип гірської маси на стрічку конвеєра 2, лінія завантаження зміститься в бік розпилювачів 8, 9 зі скороченням до 250 мм відстані між соплами і шаром завантаження. Розпилювачі 8, 9 отримують додатковий імпульс реактивної сили і нижня частина колектора 3 зміститься вгору до початкової величини відстані від сопел розпилювачів до лінії завантаження.

Зливний кран 15 в нижній частині колектора 3 призначений для періодичної очистки зрошувальної установки від механічних домішок, що сприяє підвищенню надійності її роботи.

За рахунок застосування в установці відцентрових тонкодисперсних розпилювачів і реактивного пристрою переміщення забезпечується висока ефективність пилопригнічення за умов низького тиску і зменшення більш ніж у два рази витрат води.

Найбільший ефект гідрознепилення має місце за умов направлення факелів розпиленої води за ходом вентиляційного потоку, і найменший ефект гідрознепилення має, коли факели спрямовані проти потоку повітря.

Рекомендовані до застосування засоби гідрознепилення не вимагають спеціального обладнання та приладів, і можуть використовуватися на шахтах у технологічних схемах та системах пилопригнічення що використовуються.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною самостійно виконаною науковою працею, здійснено достатній обсяг методологічних, теоретичних та експериментальних досліджень, внаслідок чого вирішена важлива науково-прикладна технічна проблема наукового обґрунтування саме можливості подавлювання процесів надходження екологічно небезпечного карбоновмісного пилу з вугільних шахт до НПС. Тому на підставі цього можна сформулювати такі висновки:

1. Здійснено аналіз проблеми техногенного забруднення довкілля карбоновмісним пилом, яка супроводжує експлуатацію вугільних шахт та може впливати на якість повітря протягом значного часу. В результаті виявлено, що карбоновмісний пил є чинником екологічної небезпеки місцевостей функціонування вугільних шахт. Підтверджено шкідливий вплив карбоновмісного пилу на НПС: повітря, воду, ґрунт і взагалі на екологічну ситуацію місцевості, де існують операції з видобутку вугілля, та можливість транскордонного забруднення пиловими частками, а також негативний вплив на здоров'я населення та біоту. Виявлено маловивченість цих питань в Україні. Встановлено основні напрямки подальших досліджень із зниження запиленості шахтного повітря шляхом вдосконалення теорії механіко-електростатичної взаємодії розпиленої води з карбоновмісним пилом на основі обліку впливу гравітаційних і електростатичних полів.

2. Наведено сучасну методологію досліджень для створення комплексу інженерно-технічних рішень щодо зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення довкілля карбоновмісним пилом у вуглевидобувних

регіонах, удосконалено та використано в експериментах методику та геометрію впливу водяних аерозольно-крапельних завіс на потоки карбоновмісного пилу.

3. Розроблено математичну модель динаміки взаємодії пилових і диспергованих водних потоків у гравітаційному та електростатичному полях, що відрізняються обліком сумарного лінійного та квадратичного спротиву руху крапель під час турбулентного, проміжного й ламінарного режимів руху повітря. Підсумкову ефективність пиловловлення запропоновано визначити як добуток імовірностей під час дії трьох незалежних одна від одної сил: динамічної, гравітаційної і електростатичної. Показано,що довжини динамічно активної зони факелу зрошення залежать від швидкості вильоту крапель рідини з форсунки і середнього діаметру крапель.

4. У вентиляційному струмені частки пилу не повинні обов’язково змочуватися і занурюватися до крапель рідини – цього може і не бути за природної і примусової зарядженості пилового і диспергованого водного струменів. Попадаючи до сфери впливу електростатичних сил, частки спрямовуються до крапель, поки не впадуть до ґрунту виробки, при цьому вони не встигнуть коагулюватися.

5. Повздовжня і вертикальна складові швидкості і траєкторій польоту крапель рідини залежать від величини і напрямку початкової швидкості, від діаметрів крапель, кутів нахилу виробки до горизонту і кутів розхилу факела. За результатами розрахунку параметрів руху диспергованої рідини її швидкості в 2-3 рази менші ніж за законом Стокса, за рахунок урахування турбулентності потоку.

6. Довжини динамічно активної зони факелу зрошення в основному залежать від двох параметрів: швидкості вильоту крапель рідини з форсунки і їх середньогармонічного діаметру. В активній зоні факелу діаметр крапель повинен обиратися таким чином, щоб довжина факела складала половину приведеного

діаметру виробки. Це забезпечить «прочісування» краплями всього об'єму активної зони зі створенням суцільної напівсфери одним факелом при куті розхилу 180^0 чи трьома факелами при куті розхилу 80^0 – 90^0 з мінімальними витратами рідини на стінках виробки.

7. В активній зоні дії факелу ефективність пиловловлення визначається величиною і напрямом вектору швидкості крапель рідини. За межами активної зони – величиною швидкості падіння крапель у турбулентному режимі і електричними силами, основними з яких є напруженість полів пилового і диспергованого водного струменів.

8. В активній зоні за рахунок прочісування всього її обсягу можна знизити концентрацію пилу на 50-80%, а за межами активної зони факела за рахунок гравітаційних сил на 40-60% за діаметру крапель рідини 200 мкм і діаметру часток пилу 10-20 мкм. Причому, зі зменшенням діаметру часток імовірність пиловловлення збільшується. А за рахунок електростатичних сил концентрацію пилу можна зменшити на 80 – 90%. Відтак, якщо внесок кожної з сил буде складати 50%, то імовірність пиловловлення, як добуток імовірностей, складе 12,5%. Отже, основна задача боротьби з пилом буде вирішена за умов відповідного вибору кількості форсунок та їх гідравлічних і геометричних параметрів.

9. Для досягнення максимальної ефективності гідрознепилення в активній зоні факелу доцільно використовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони встанвлювати додатково туманоутворюючу завісу за 5-10 м від першого факела.

10. Запропонована зручна для практичних розрахунків залежність ефективності гідрознепилення дозволяє враховувати параметри крапель, а також кількість розпилювальних форсунок і їх тип. Найбільший ефект гідрознепилення

має місце за умов направлення факелів розпиленої води за ходом вентиляційного потоку, і найменший ефект, коли факели спрямовані проти струменю повітря.

11. Коли факели, спрямовані перпендикулярно струменю, емпіричні коефіцієнти, як множники перед концентрацією Z_0 у формулі (4.1), для розпилювачів типу РТ, РТУ і ФТ відповідно рівні 1,1; 1,3 і 1,5. Це дало можливість визначити сумарний коефіцієнт захоплення при дії гравітаційних і електростатичних сил під час роботи факелів перпендикулярно вентиляційного потоку.

12. Розроблено і впроваджено на підприємствах підвищеної шкідливості за пиловим чинником науково обґрунтовані «Рекомендації з гідрознепилення повітря в забоях та підготовчих виробках для створення умов більш екологічних технологій виробництва і зменшення шкоди довкіллю».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України / М.П. Баштаннік, Н.С. Жемера, Є.М. Кіптенко, Т.В. Козленко // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. - 2014. - Вип. 266. - С. 70-93. - [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npundgi_2014_266_11

2. Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm

3. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2015 році. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://mepr.gov.ua/news/31768.html

4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2017 році. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://mepr.gov.ua/news/35955.html

5. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://mepr.gov.ua/news/35937.html

6. Ю.З. Драчук, м. Донецьк напрямки зменшення негативного впливу на довкілля у вугільному регіоні Економічний вісник Донбасу 2007 – 1

7. ISSN 1682-721X. Мінеральні ресурси України. 2015. № 4 Є. О. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. Наук (ІТГІП НАН України) асиміляційний потенціал геологічного середовища гірничодобувних регіонів україни як провідний показник екологічних проблем надрокористування 37-43

8. Концепція поліпшення екологічного становища гірничодобівнихрегіонів України / Під ред. Акад. В.М. Шестопалова. — К.: НАН України, Мінекобезпеки, Мінвуглепром, Мінпромполітики, Мінпраці, НАК «Нафтогаз України», 2000. - 40 с.

9. Кущ О., Лубочников А., Панов Б. Современное состояние угольной промышленности Донбасса и его минерально-сырьевой базы и задачи

геологического обеспечения развития угольной промышленности // Материалынаучно-практическойконференции «Донбасс-2020: Наука и техника—производству». — Донецк: доннту, 2002. — С. 101—105.
10. Поважный С.Ф., Аулова Е.А. Охрана природы и эффективность работы шахт // донгау. — Менеджер. — 2001. — № 2. — С. 34—38.
11. Surber S., Simonton D. Disparate impacts of coal mining and reclamation concerns for West Virginia and central Appalachia// Resources Policy. – 2017. – V. 54. – P. 1– 9.
12. Yu X. Coal mining and environmental development in southwest China // Environmental Development. – 2017. – V. 21. – P.77–86.
13. Hota P., Behera B. Coal mining in Odisha: an analysis of impacts on agricultural production and human health // The Extractive Industries and Society. – 2015. – V. 2. – № 4. – P. 683–693.
14. Ghose M., Majee S. Characteristics of hazardous airborne dust around an Indian surface coal mining area // Environmental Monitoring and Assessment. – 2007. – V. 130. – № 1–3. – P. 17–25.
15. Осипова Н. А. [и др.] Влияние угледобывающей промышленности на загрязнение снежного покрова прилегающих городских территорий (на примере г. Междуреченск) // Вестник Томского политехнического университета [Вестник ТПУ]. Георесурсная инженерия. - 2017. - Т.328, № 12. - С. 36-46.
16. Обладнання нового покоління для реалізації екологічно прийнятого способу розбирання породних відвалів вугільних шахт мнухін а.г., гітуляр а. А., печений в.л.Екологічна безпека та технології захисту довкілля 1/2019 с. 79.
17. Костенко В.К. Якісна оцінка впливу видобутку енергоносіїв на довкілля / В.К. Костенко // Вісті Донецького гірничого інституту – №1(38), 2016. – С. 139-149.
18. К вопросу защиты окружающей среды от мелкодисперсной пыли горных предприятий. Стась г.в. Калаева с.з. Кзы Муратова К.М., Чистяков Я.В., известия тулгу. Науки о Земле. 2019, вып.1, с.92-106.
19. Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation—A review AK Patra, S Gautam, P Kumar - Environmental Technology & Innovation, 2016 – p. 233-249.

20. Використання шахтної породи вп «шахта капітальна» для зменшення техногенного навантаження на довкілля Терехова Т.О., Зав'ялова О.Л., збірник тез доповідей, v міжнародна науково-практична конференція «проблеми техніки і технології переробних виробництв», 16 травня 2019 року, м. Покровськ, с 94-97,
21. Постанова верховної ради україни Про Концепцію сталого розвитку населених пунктів Документ 1359-XIV, поточна редакція — [Електронний ресурс] Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1359-14#Text
22. Суханов В.В.. Управление опасностью в шахтах. / Уголь Украины, №9, Киев: Техника. – 1981. – С. 34-36.
23. Методичні рекомендації МОЗ України «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» [Електронний ресурс] Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07#Text
24. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) Редакція від 07.08.2014. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0201282-97#Text
25. Плахотній С.А. Удосконалення системи управління екологічною безпекою атмосферного повітря та гідрогеологічного середовища навколо вугільних шахт дис. Канд. Техн. Наук: 21.06.01 /С.А. Плахотній – Київ, 2017 – 120 с.
26. Розробка способів зниження рівня екологічної небезпеки від пилових викидів вугільних шахт / В.Є. Колесник, А.В. Павличенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ, 2016. — Вип. 128. — С. 167-178.
27. World Health Organisation/ Official web-site./ [Electronic resource]. – Access mode: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (Date of access to the site 26/04/2020)
28. Холодов А.К., К. Кириченко, К. Задорнов, К. Голохваст / Влияние твердых частиц в воздухе жилых районов по здоровью человека / Периодический вестник Камчатского государственного технического университета / 2019 - С. 82.
29. Гильмундинов В.М., Л. Казанцева, Т. Тагаева, К. Кугаевская / Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье населения регионов России // Регион: экономика и социология. - 2013. - №1. - С. 209–228.

30. Кику П.Ф., Бениова С.Н., Гельцер Б.И. Среда обитания и экологически зависимые болезни человека. - Владивосток: Дальневосточный Федеральный университет, 2017. - С. 390.
31. Васильєва І.В., Актуальні питання моніторингу породних відвалів вугільних шахт та охорони навколишнього середовища / // Мінеральні ресурси України. - 2015. - No 3. - С. 39-45.
32. Горобей М.С., Бондар О.І. Проблемні питання негативного впливу карбоновмісного пилу на атмосферне повітря та шляхи їх вирішення. Науковий журнал «Проблеми екологічної безпеки» -2019 - С.181-186
33. Качурин Н.М., Л.Л. Рыбак, В.И. Ефимов, С.А.Воробьев / Распределение ресурсов для предотвращения загрязнения атмосферного воздуха в горнодобывающем регионе // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 2. с. 24–27.
34. Jain r.K., Cui Z., domen J.K. Environmental impact of mining and mineral processing. Butterworth-heinemann, 2016. 307 p.
35. Jiuping Xu. Ecological coal mining based dynamic equilib rium strategy to reduce pollution emissions and energy con sumption // Journal of Cleaner Production. 2017. N 11. P. 514-529.
36. Інформація МОП та ВООЗ Звіт 2013. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/---sro-moscow/documents/genericdocument/wcms_312005.pdf
37. Sustainable Development of Resources and the Environment: Mining-Induced Eco-Geological Environmental Damage and Mitigation Measures—A Case Study in the Henan Coal Mining Area, China by Wenbing Guo 1,2, Mingjie Guo, Yi Tan, Erhu Bai, Andgaobo Zha [Електронний ресурс] Режим доступу: https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v11y2019i16p4366-d257029.html
38. Статистичний збірник «Праця України 2012».– Держстат України, 2013.– 321 с.
19. Кононова І. Г. Стан та перспективи санітарно- епідеміологічного нагляду на промислових підприємствах в Україні // Укр. Журнал з проблем медицини праці.– 2013.– № 2.– С 3–10.

39. Сб. Инструкций к правилам безопасности в угольных шахтах. Киев: «Основа».-1996.-т.1.-424с.
40. Зингер Ф.Х., Е.С. Сорокин. Профилактика профессиональных заболеваний горнорабочих на шахтах Украины. / Уголь Украины, № 6, Киев: Техника. – 1980. – С. 33-34.
41. Саранчук В.И., В.В. Рекун, В.А. Тамко. Пути повышения эффективности пылеподавления орошением. / Уголь Украины № 9, Киев: Техника, 1981. – С. 33-34.
42. Медведев Э.Н., А.П. Коренев, Л.И. Скляров. Совершенствование способов обеспыливания при щитовой выемке крутых пластов. / Уголь Украины, № 2, Киев: «Техника», 1983. – С. 26-27.
43. В.Н. Мальцев, О.И. Кашуба, Н.А. Гамза. Новый смачиватель для борьбы с угольной пылью. / Уголь Украины, Киев: Техника, 2002. – С.29.
44. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий. М: «Недра».-1991.-252с.
45. Ищук И.Г., Г.А. Поздняков. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий. / Справочник, Москва: Недра, - 1991. – 251 с.
46. Кошуба О.И.. Работы макнии в области борьбы с рудничной пылью. // Сб. Науч.тр.: Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Макнии, 2000. – С. 37-41
47. Фон Фельзен-Цервек В. Пути повышения уровня безопасности в каменноугольной промышленности. // Глюкауф (рус. Пер.), 1991. № 17/18. – С. 6-19
48. Руководство по борьбе с пылью и пылевзрывозащите в угольных шахтах. – Донецк. Макнии, 2000г. –147 с.
49. Ерохин С.Ю. Проблема нормализации атмосферы горных выработок с целью обеспечения безопасных и высокопроизводительных условий труда горнорабочих угольных шахт // Комплексное освоение угольных месторождений / МГИ. – М., 1989. – С.91-93.
50. Чуркин В.К.. Улавливание пыли на вентиляционных штреках. / Сб. Изобретений и рационализаторских предложений, внедренных в угольную промышленность.-Донецк, 1960.

51. Петрухин П.М., А.Н. Кульбачный. Исследование эффективности пылеподавления омагниченной водой. / Сб.науч.статей. Макеевка, 1970. – С.95-100.
52. Скочинский А.А.. Нагнетание воды в угольный пласт как эффективное средство снижения пылеобразования при выемке угля //Уголь.-1956.-№8.- С. 31-34.
53. Чернов О.И. Развитие метода комплексной борьбы с угольной пылью, горными ударами, внезапными выбросами угля и газа и эндогенными пожарами в угольных шахтах // Нагнетание воды в угольные пласты.- М: Недра, 1965.- С.7-64.
54. Бурчаков А.С., Панов Г.Е. Предварительное увлажнение угольных и породных массивов.-М: Недра, 1968.- 75с.
55. Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С., Панов Г.Е. Эффективность предварительного увлажнения угольных пластов и пути ее повышения.- М:цнииэиуголь, 1963.-52с.
56. Смолянинов Н.Г. Исследование влияния нагнетаемых жидкостей в угольный пласт на снижение газовыделения и пылеобразования при его разработке.- Автореф. Канд дис.- М., 1971.- 23с.
57. Кирин Б.Ф. Повышение эффективности мероприятий по борьбе с пылью в шахтах //Научные труды МГИ.-1975.-№105.-С.88-92.
58. Предварительное увлажнение угольных пластов // Под общей редакцией Торского П.Н., М: Недра, 1974.-208с.
59. Шиленков В.Н. Основные причины низкой эффективности пылеподавления при нагнетании воды в пласт // Труды КНИУИ.-1066.-вып.19.-С.252-257.
60. Гродель В.С. Предварительное увлажнение и орошение как способы борьбы с пылью в очистных забоях шахт Центрального района Донбасса. Автореф. Канд.дис. –Макеевка – Донбасс.-1962.- 23с.
61. Павлыш В.Н. Развитие теоретических основ комплексного гидропневматического воздействия на угольные пласты. Автореф. Докт. Дис.- Днепропетровск.-2006.-32с.
62. Бобров И.В., Кричевский Р.М. Борьба с внезапными выбросами угля и газа. - Киев: техника, 1964.-328с.
63. Правила безпеки у вугільних шахтах. Державний нормативний акт з охорони праці.- К: Держнаглядохоронпраці, 2000.-484с.

64. Карагодин Л.Н., Поздняков Г.А., Губайловский А.Г. Способы и средства борьбы с пылью на добычных участках угольных шахт.-М.:цнииэиуголь,1997.-40с.
65. Ножкин Н.В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений.-М.: Недра, 1979.-271с.
66. Жуков А.Е., Канин В.А., Лунев С.Г. Региональная гидрообработка выбросоопасного пласта растворами ПАВ из нулевых выработок // Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции «Интенсивная и безопасная технология разработки угольных и сланцевых месторождений».- М., 1989.-23с.
67. Результаты региональной гидрообработки крутого пласта растворами ПАВ / А.Е. Жуков, В.А. Канин, Г.П. Стариков, В.В. Дмитренко //Уголь Украины.-1989.-№11.-С.19-24.
68. Алексеев А.Д., Стариков Г.П., Малюга М.Ф., Аносов О.С. Обработка выбросоопасных пластов водными растворами ПАВ.-К.: Техніка, 1988.-86с.
69. Павлыш В.Н., Каплюхин А.А. Экономическая оценка каскадной технологии гидрообработки пласта // Тр. 9 ой Международной научно-практической конференции «Машиностроение и техносфера в 21 веке».-Севастополь, 2002.-Т2.-С.209-211.
70. Ножкин Н.В. Режимы внедрения жидкости в угольный пласт // Технология добычи угля подземным способом.-М: цнииэиуголь, 1987.-№2.-С.99-106.
71. Гого В.Б. Развитие теории и совершенствование средств гидрообеспыливания для улучшения условий труда шахтеров по пылевому фактору. Автореф. Докт. Дис.-Макеевка-Донецк.- 2009.- 38с.
72. Сухий О. Л., Міленін В. М., Тарадайнік В. М. Алгоритми пошуку в інформаційних системах. Методичні рекомендації, Київ – 2015.
73. ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону атмосферного повітря [Електронний ресурс] Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text
74. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Петунин П.М., Гродель Г.С., Жиляев Н.И. и др. 2-е изд., перераб. И доп. М.: Недра, 1981. – 271 с
75. Смачивание пыли и контроль запылённости воздуха в шахтах. / Р.Р.Кудряшов, Л.Д. Воронина, М.К. Шуринова, и др.. – М.: Наука, 1979. – 196 с.
76. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – 914 с.

77. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.:Наука, 1967. – 428 с.
78. Козлюк А.И. Водоснабжение угольных шахт для борьбы с пожарами и пылью. – М.: Недра, 1979. – 287 с.
79. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли / В.И. Саранчук, В.Н. Качан, В.В. Рекун и др. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 216 с.
80. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей. – М.: Наука, 1980. – 176 с.
81. Ищук И.Г., Поздняков Г. А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий. Справочник. – М.: Недра, 1991. – 223 с.
82. Петрухин П.М. и др. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах. – М.: Недра, 1981. – 271 с.
83. Борьба с угольной пылью в высокопроизводительных забоях. / Под ред. Ф.С. Клебанова. ИГД им. А.А. Скочинского. – М.: Недра, 1981. – 116 с.
84. Кирин Б.Ф., Журавлёв В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыделением в шахтах. – М.: Недра, 1983. – 213 с.
85. Журавлёв В.П., Цыцура А.А., Кудрявцев А.А. Применение гидрообеспыливания на предприятиях чёрной металлургии и в угольной промышленности. – Караганда, 1982. – 22 с.
86. Журавлёв В.П., Глузберг Б.Е. Выбор способа орошения для пылеподавления. // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. Научн.-техн. Реф. Сб. – цниэиуголь, 1979, №3. – С. 2 – 3.
87. Разработка метода и программы расчёта фракционной эффективности пылеулавливания при попутном капельном орошении. / Под рук. Пирумова А.И. // Сборник НИР и ОКР, 1983. – Серия 14, №31. – 47 с.
88. Поздняков Г. А., Марынюк Г.К. Теория и практика борьбы с пылью в механизированных подготовительных забоях. – М.: Недра, 1983. – 126 с.
89. Журавлёв В.П., Лоренц А.Х. Исследование и расчёт оросителей с регулируемой характеристикой. // Борьба с силикозом. – М.: Недра, 1982. – т. XI. – С. 67 – 71.

90. Исследование электродинамических свойств аэрозолей и их влияния на эффективность пылеулавливания при орошении / В.И. Саранчук, В.В. Рекун, В.А. Тамко, Г.А. Поздняков // Борьба с силикозом. – М.:Наука, 1982. – т. XI. – С. 26 – 29.
91. Саранчук В.И., Рекун В.В., Поздняков Г.А. Электрические поля в потоке аэрозолей. – Киев, Наукова думка, 1981. – 112 с.
92. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. – М.: Химия, 1976. 431 с.
93. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы, туманы. – Л.: Химия, 1972. – 427 с.
94. Кудряшов В.В. Концентрация и расход смачивателя при гидрообеспыливании // Борьба с силикозом. – М.: Наука, 1982. – т.XI, С. 11 – 18.
95. Поверхностно-активные вещества. Справочник / Л.: Химия, 1981. – 246 с.
96. Абрамзон А.А. Поверхностные явления и поверхностные вещества. – М.: Химия, 1984. – 392 с.
97. Федосеев В.А. Свойства аэродисперсных систем, образованных из пузырей. // Физика аэродисперсных систем. Киев-Одесса: Вища школа, 1982. Вып. 21. - с. 3 - 4.
98. Солодовников А.М., Крикунов Г.Н., Басий В.И. Влияние электрического поля пены на процесс осаждения пылевых частиц // Системы обеспыливания в строительстве. – Ростов-на-Дону: Рост. Инж. Строит. Ин-т, 1985. – С. 3 – 4.
99. Ужов В.Н. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. 390 с.
100. Духин С.С, Эстрела-Льопис В.Р., Жолковский Э.К. Электроповерхностные явления и электрофильтрование. – Киев, Наукова думка, 1985. – 228 с.
101. Сумм Д.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. – М.: Химия, 1976. – 236 с.
102. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1976. – 236 с.
103. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия,1979. – 216 с.
104. Асланов М.К., Гирин А.Г. Гидродинамический механизм дробления капель при детонации в аэрозолях, вызванных неустойчивостью ускоряющегося тангенциального разрыва // Физика аэродинамических систем. – Киев – Одесса: Вища школа, 1980. Вып. 20. – С. 96 – 104.

105. Мостинский И.Л., Ламден Л.И., Стоник С.Г. О распределении в газовом потоке диспергированной фракции из вводимой в него полидисперсной струи // Инженерно-физический журнал, 1985. – т. 44. – С. 739 – 749.
106. Справочник по пыле и золоулавливанию // М.И. Биргер, А.Ю. Бальдберг, Б.И. Мягков и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 316 с.
107. Лившиц М.Н., Моисеев В.Н. Электрические явления в аэрозолях и их применение. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 225 с.
108. Статическое электричество в химической промышленности / Под редакцией Б.И. Сахина. – Л.: Химия, 1977. – 238 с.
109. Лопатенко С.Б. Электризация капель водных растворов электролитов с общим анионом // Физика аэродинамических систем. – Киев – Одесса: Вища школа, 1982. – Вып. 22. – С. 3 – 6.
110. Приёмов С. И. Определение функции распределения капель дискового распределителя по его крупным характеристикам // Санитарная техника, - Киев, 1975. – Вып. XV. – С. 119 – 122
111. Фролов М.А., Зырянов Е.Г., Терещенко А.М. Эффективность снижения пылеобразующей способности и крепости антрацитов при увлажнении водными растворами синтанола и неонола // Борьба с силикозом. – М.: Наука, 1982. – т. XI. – С. 43. – 46.
112. Левин Л.М. Исследования по физике грубодисперсных систем. – М.: Изд-во Ан СССР, 1961. – 267 с.
113. Галицкий Э.Б., Кудрицкий С.Б. Влияние пассивации капель на параметры искусственно создаваемого тумана. – Киев – Одесса: Вища школа, 1983. – Вып. 23. – С. 16 – 22.
114. Шенрок Р.Г., Ковальчук Л.П., Тихомиров Б.В. Исследование смачивания известкового аэрогеля в присутствии газовых сред // Исследование дисперсных систем при решении вопросов охраны окружающей среды. – Караганда, 1983. – С. 52 – 54.
115. Журавлёв В.П., Качан В.Н., Соколова Г.Н. Повышение эффективности гидрообеспыливания путём использования естественной электрозаряженности

капель факела орошения // Системы обеспыливания в строительстве. – Ростов-на-Дону: Рост. Инж.-строит. Ин-т, 1985. – С. 13 – 21.

116. Качан В.Н., Соколова Г.Н. Выбор эффективных оросителей для систем орошения // Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем. Тез. Докл. XIV Всесоюзн. Конф., 29 сент. – 2 окт. – Одесса, 1986. – С. 115.

117. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712 с.

118. Щербань А.Н., Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. – М.: Недра, 1977. – 359 с

119. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1974. – 832с.

120. Журавлёв В.П., Глузберг В.Е. Исследование физических процессов, протекающих при пылеподавлении с помощью орошения // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. М.: цниэиуголь, 1978, №4. – С. 12 – 14.

121. Волощук В.М. Введение в гидродинамику грубодисперсных аэрозолей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 208 с.

122. Горбис З.Р., Спокойный Ф.Е. Физическая модель и математическое описание процесса движения мелких частиц в турбулентном потоке газовзвеси. – Теплофизика высоких температур, 1977, т. 15, №2. – С. 399 – 408.

123. Фортье А. Механика суспензий. – М.: Мир, 1971. – 264 с.

124. Шрайбер А.А. О диффузии тяжёлой частицы в турбулентном потоке. – В кн.: Теплофизика и теплоткхника. К.: Наукова думка, 1973, вып. 25. – С. 110 – 113.

125. Сборник инструкций к Правилам безопасности в угольных шахтах. - т. 1, К., 2003. – 480 с.

126. Руководство по борьбе с пылью и пылевзрывозащите в угольных шахтах. – М., 1990. –150 с..

127. Средства комплексного обеспылевания горных предприятий. И.Г. Ищук, Г.А. Поздняков и др. – М.: Недра, 1991. – 256 с.

128. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. М:Недра,1979.-154с.

129. Киселев В.И.. Насосы, компрессоры и вентиляторы. М 1978г. Раздел гидравлика «расчетное соотношение для свободной турбулентной струи», табл. 8.1.

130. «Справочник металлиста». М1979г. Раздел «Витые пружины».

131. Ищук И.Г., Г.А. Поздняков. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий. Справочник. Москва «Недра» 1991г. 253 с.
132. Быков Л., А. Ксенофонтова. Справочник по рудничной вентиляции. Москва 1962г.
133. Гого В. Б.. Эффективность пылеподавления. Журнал «Уголь Украины» №4 2006г. С.34-36
134. Павлыш В.И., С.С. Гребенкин. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты. Донецк «ВИК» - 2006г. – 268 с.
135. Пажи Д.Г.. Основы распыления жидкости. Москва. Химия, 1984г. 254с
136. Демонова Т.В., Медведев В.П. Основы аэродинамики и гидромеханики: учеб. Пособие. Таганрог: ТАВИАК, 2011. С.55-56.
137. НПАОП 10.0-5.23-04. Інструкція з комплексного знепилювання повітря[Електронний ресурс] Режим доступу: https://dnaop.com/html/44425/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_10.0-5.23-04
138. Шмандій В.М. Екологічна безпека: підручник / В.М. Шмандій, М.О. Клименко, Ю.С. Голік, А.М. Прищепа ,В.С. Бахарєв, О.В. Харламова. – Херсон: Олді-плюс, 2013.– 366 с
139. Мала гірнича енциклопедія: [у 3-х т.] / [за ред. В.С. Білецького]. – Донецьк: Донбас, 2004. – Т. 1. – 358 с
140. Миркин Б.М. Популярный экологический словарь / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова. – Режим доступа: http://www.ecolife.ru/slovar/slovar1.shtml
141. Улицький О.А. Гідрогеологічні та геомеханічні фактори екологічної безпеки навколишнього середовища в умовах реформування вугільної галузі / В.М. Єрмаков, В.І. Бузило, А.В. Павличенко // монографія, ДВНЗ 11 «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ - 2014. – 199 с
142. Рудько Г.І. Екологічна безпека вугільних родовищ України / За ред. Г.І. Рудька, О.І. Бондаря. – Київ – Чернівці: Букрек, 2016. –608 с.
143. (ОБСЄ) (дані DEIS The Donbas Environment Information System Інформаційна система довкілля Донбасу: http://deis.menr.gov.ua/)

144. Эволюция восприятия местными жителями деятельности угольного терминала брисбена. Текст научной статьи по специальности «Охрана окружающей среды. Экология человека» Халявко Юлия Олеговна: «Уголь 2018» с 81-86
145. Бардась А. В. Розробка методичних рекомендацій щодо визначення економіко-екологічного потенціалу вугільних шахт / А. В. Бардась. // Економічний простір: зб. Наук. Праць. Хмельницьк. – 2010. – №37. – С. 309– 322.
146. Вагонова О. Г. Управління ресурсним потенціалом вугільних шахт/ за ред. О.Г. Вагонова, Ю. С. Папіж.: навч. Посіб. / О. Г. Вагонова. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – 178 с.
147. Yinlin J, Ting R and Peter W 2016 Comparative study of dust control practices in Chinese and Australian longwall coal mines International Journal of Mining Science and Technology 26, p. 199-208
148. Экологические проблемы добычи и использовании угля [Электронный ресурс] /. – Режим доступа: http://studbooks.net/1830934/geografiya/ekologicheskie_problemy_dobychi_ispolzovaniya_uglya (дата обращения: 30.09.2017)
149. Starke L. Breaking New Ground: Mining, Minerals and Sustainable Development. London: IIED, 2016. 480 p.
150. Звіт про науково-дослідну роботу no7/12 «Дослідження сучасного стану забруднення атмосферного повітря та його прогнозування в промислових містах україни» Є.М.Кіптенко, М.П. Баштаннік, 2014
151. Концепція поліпшення екологічного становища гірничодобувних регіонів України / Під ред. Акад. В.М. Шестопалова. — К.: НАН України, Мінекобезпеки, Мінвуглепром, Мінпромполітики, Мінпраці, НАК «Нафтогаз України»,2000. - 40 с
152. Environmental impacts of coal mining, processing and coal utilisation (Data Source: Mamurekli, 1997
153. Нагорна А. М., П. М. Вітте, М. П. Соколова [та ін.] Оцінка ризику розвитку професійних захворювань у працівників металургійної, вугільної промисловості та машинобудування України / Укр. Журн. З пробл. Мед. Праці.– 2012.– № 3.– С. 3–13
154. Горобей М.С., Ю.Ф. Булгаков, И.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеенко. Розробка математичної моделі аеродинамічної взаємодії розпиленої води з частинками вугільного пилу. Development of mathematical model for aerodynamic

interference of sprayed water with coal dust particles. УДК: 622.807 // Розробка родовищ: Зб. Наук. Пр. — 2015. — Т. 9. — С. 443-449.
155. Горобей М.С., Булгаков Ю.Ф. Теоретическое исследование процесса осаждения угольной пыли в гравитационных и электростатических полях. // Вісті Донецького гірничого інституту. 2014. № 2(34). С. 210-215
156. Environmental impacts of coal mining, processing and coal utilisation (Data Source: Mamurekli, 1997
157. ISSN 1682-721X. Мінеральні ресурси України. 2015. № 4 Є. О. ЯКОВЛЄВ, д-р техн. Наук (ІТГІП НАН України) асиміляційний потенціал геологічного середовища гірничодобувних регіонів україни як провідний показник екологічних проблем надрокористування 37-43
158. Ukraine Recovery and Peacebuilding Assessment. Analysis of crisis impacts and needs in eastern Ukraine. Volume II : Full component reports [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.un.org.ua/images/documents/3738/ ukrainerecoverypeace_A4_Vol2_Eng_rev4.pdf].
159. Gbasouzor Austin Ikechuks. The effect of particle size on the wettability of akwuke coal using continuous flow technique, Proceedings of the world congress on engineering and computer science, 2011, Vol. 2, October 19-21 , San-Francisco, USA.
160. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами: монография/ М.В. Василевский – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.–258 с.
161. Analysis of fraction distribution of the water drops stream generated by the spraying nozzles of new KOMAG design / Dominik Bałaga Materials Science and Engineering 545 (2019) doi:10.1088/1757-899X/545/1/012010
162. Exposure to silica dust in coal-mining. Analysis based on measurements made by industrial hygiene laboratories in Poland, 2001-2005 Urszula Mikołajczyk, Stella Bujak-Pietrek, Irena Szadkowska-Stańczyk, Medycyna Pracy, ISSN 0465-5893, e-ISSN 2353-1339, 2010, vol. 61, pp. 287-297.
163. Холодов А.С., К.И. Кириченко, К.С. Задорнов, К.С. Голохвастого / Влияние твердых частиц в воздухе жилых районов на здоровье людей / Периодический вестник Камчатского государственного технического университета / 2019 - С. 82.

164. Li Man, Xu Hai-Hong, Shu Xin-qian. Study on coal dust wettability measurement using cold briquetting technique, Journal of coal science and engineering, 2008, Vol. 14, No. 4.
165. Petsonk E.L., Rose C., Cohen R. Coal mine dust lung disease. New lessons from old exposure // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. - 2013. - № 187 (11). - С. 1178–1185.
166. Laney A.S., Weissman D.N. Respiratory diseases caused by coal mine dust // Journal of Occupational and Environmental Medicine. – 2014. – № 56(10S). – P. 18–22
167. Бакка М.Т. Екологія гірничого виробництва: [навч. Посіб.] / М.Т. Бакка, І.Л. Гуменюк, В.С. Редчиць. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 307 с.
168. Сургай Н. С. Вугільна промисловість та навколишнє природне середовище - основні аспекти взаємовідношень // Н. С. Сургай, В. А. Куліш, Ю. С. Кузін // Уголь Украины. - 2008. - № 11. - С. 35.
169. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та подальшу перспективу [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL:http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?Art_id=32299946
170. Шмандій В.М. Особливості управління екологічною безпекою у техногенно навантаженому регіоні.
171. Бузило В.І. Технології забезпечення екологічної та техногенної безпеки гірничодобувних регіонів при ліквідації вугледобувних підприємств України / В.І. Бузило, С.С. Гребьонкін, В.М. Єрмаков, В.М. Павлиш та ін. // монографія, ДВНЗ «Національний гірничий університет», Видавництво «Літограф» - м. Дніпропетровськ, – 2013. – 348 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

ГЕОТЕХНОЛОГІЯ

Науково-виробнича впроваджувальна фірма

02098, Україна, Київ-98, вул. Дніпровська набережна, 7, к.23.
Тел./факс +38 044553-95-74· тел. +38 044553-01-79; моб. тел.
+38 066 616 79 27 E-mail: geotech-m@mail.ru

АКТ
впровадження результатів дисертаційних досліджень
Горобей Марини Сергіївни за темою:
«Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом»

Засвідчуємо, що результати наукових досліджень на основі матеріалів дисертаційної роботи Горобей Марини Сергіївни впроваджені у Науково-Виробничої Впроваджувальної Фірмі «ГЕОТЕХНОЛОГІЯ».

Запропоновані дисертантом методики є передумовою удосконалення існуючих екологічно безпечних технологічних процесів із попередження негативного техногенного впливу карбоновмісного пилу на довкілля під час функціонування вугільних шахт. А саме вирішена задача розкриття особливостей впливу чинників на ефективність процесів взаємодії дисперговапих водних струменів з карбоновмісним пилом у технологіях запобігання забруднення ним довкілля, що є передумовою науково-технічного прогресу у сфері екологічної безпеки та сприятимуть ефективній та екологічно стійкій експлуатації вугільних ресурсів.

Горобей М.С. уточнено механізм осаду зваженого карбоновмісного пилу на ґрунт виробки внаслідок дії гравітаційних і електростатичних сил.

Запропоновано математичну модель динаміки взаємодії пилових і дисперговапих водних струменів у гравітаційному і електростатичному полях, яка відрізняється урахуванням сумарного лінійного і квадратичного опору руху крапель під час турбулентного, проміжного та ламінарного режимів руху повітря.

Отримана аналітична залежність довжини динамічно активної зони факелу зрошення від швидкості вильоту крапель рідини з форсунки і середнього діаметру крапель.

Експериментально обґрунтовано параметри ефективного осадження часток карбоновмісного пилу.

Переваги впровадження результатів дисертаційиих досліджень Горобей М.С. настунні:

Науково-обгрунтовані рекомендації щодо застосування у гірничих виробках вугільних шахт гідрозненнлюючих водяних завіс з використанням сучасних рознилювачів типу РТ 1.2 - СЛ; РТ-СЛ, ФТ-СЛ, розроблені дисертантом, є доновненням до «Інструкції з комплексного зненилювання повітря» і можуть бути використані нрацівниками шахт під час вибору найбільш ефективних засобів боротьби з карбоновмісним нилом під час технологічних процесів з високою категорією запиленості у технологіях захисту довкілля.

В роботі запроионовано методи, моделі, алгоритми, що дозволяють підвищепня ефективності експертного оцінювання екологічних загроз та ризиків техногенного забруднення довкілля карбоновмісним пилом.

Дисертаційні дослідження Горобей Маринн Сергіївни мають важливе значення для науки і технічних розробок. Доцільне рекомендуватн та продовжити дослідження в даному напрямку.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався, у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено для представлення в снеціалізовану вчену раду та не є основою для виплати винагородн за впровадження та інших авторських винагород.

Член Комітету з питань промислового партнерства та науково-виробничої кооперації Торгово-промислової палати України, Генеральний директор **Мухін Є.А.**

10.12.2019

Додаток Б

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ

ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ

Державне підприємство «Мирноградвугілля»

Відокремлений підрозділ «Шахта 5\6»

85320, Донецька область ІНН 320879405061, №
св.06038975
м. Мирноград, вул. Гірнична, 2 р/р.26006300262047
тел-(06239)6-54-84 філія Донецька ОУ АТ
«Ощадбанк»
Факс-6-20-67 код ОКПО 333839081 МФО
335106

від « 16 » січня 2020 р. № 16/220

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційиого дослідження
Горобей Марини Сергіївни

Результати дисертаційного дослідження Горобей Марини Сергіївни за темою «Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним нилом» на здобуття наукового стуненя кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека, використовуються при розробці практичних заходів зі зненидення повітря.

Зокрема враховані пропозиції дисертанта щодо:

- з метою зменшення негативного впливу вугільного пилу на екосистему шахти шляхом нідвищення ефективності пилоподавлення на пересипах конвеєрів і в місцях навантаження і перевантаження вугілля нередбачено використовування зрошувальних установок РТУ-СЛ, які забезпечують також мінімальну кількість центробіжних розпилювачів води і зменшення до мінімуму перезволоження вугілля.
- під час практичних розрахунків ефективності гідрозненилення було враховано отриману авторкою залежність лінійного і квадратичного супротивів руху крапель при турбулентному, нроміжному і ламінарному режнмах нодавання рідини;
- для найбільщого ефекту гідрознепилення факели розпиленої води заплановано направляти за ходом вентиляційного нотоку.
- для достягнення максимальної ефективності гідрознепилення передбачено в активній зоні факелу розпиленої рідини застосовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони встановлювати додатково туманоутворюючу завісу в 5 – 10 м від першого факела

Результати дисертаційного дослідження Горобей Марини Сергіївниу розкритті особливостей впливу чинників на ефективність процесів взаємодії диснергованих водних струменів з карбоновмісним пилом заслуговують уваги та успішно використовуються у виробничому процесі, а також викликають певний інтерес у роботі екологічної служби підприємства в зв'язку з актуальністю проблеми і загальною метою підвищення ефективності технологій запобігання забруднення довкілля карбоновмісним нилом.

У результаті апробації зроблено висновок, що результати дисертаційного дослідження Горобей М.С. доцільно і надалі впроваджувати у виробничу діяльність піднриємства для зменшення негативного впливу на довкілля.

Головний інженер В.І.Целік

Головний технолог І.О.Соболь

Провідний інженер з ОНС М.О.Юхімець

Додаток В

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТУ
ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ ПІДРОЗДІЛ
"ШАХТА "КАПІТАЛЬНА"
ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА
"МИРНОГРАДВУГІЛЛЯ"

85320, м. Мирноград Донецька область,
вул. Соборна, 1;
телефон-факс: (062) 354-21-77
e-mail: kapitalna@ukr.net
р/р UA193354960000026005051600272
ПАТ КП Приватбанк Мирноградське від.
МФО 335496 Код за ЄДРПОУ 33504964

від 03.02.20 № 08/76

до _____ № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційиого дослідження Горобей Марини Сергіївни

Результати дисертаційного дослідження Горобей Мариии Сергіївни за темою «Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним нилом» на здобуття наукового ступеня кандидата технічннх наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека, використовуються при розробці практичиих заходів зі знепилення повітря.

Зокрема враховані пропозиції дисертапта щодо:

- урахування сумарно лінійного і квадратичного супротпвів руху кранель при турбулентпому, проміжномуі ламінарному режимах під час практичних розрахупків ефективності гідрознепилення;
- для найбільшого ефекту гідрозненилення факели розпиленої води треба направляти за ходом вентиляційного нотоку.
- в активній зоні факелу розниленої рідини потрібно застосовувати грубодисперсну рідину, а за межами активної зони встановлювати додатково туманоутворюючу завісу в 5 – 10 м від нершого факела для достягнення максимальної ефективності гідрознешиления.
- з метою забезнечення внсокої ефективності пилонодавлення прп мінімальній кількості центробіжних розниловачів води і зменшення до мінімуму нерезволоження вугілля на пересинах конвеєрів і в місцях навантаження і перевантаження вугілля використовувати зрошувальну установку РТУ-СЛ.

Результати дисертаційного дослідження Горобей Марини Сергіївниу розкритті особливостей внливу чинників на ефективність процесів взаємодії диспергованих водних струменів з карбоновмісним пилом заслуговують уваги та уснішно використовуються у виробничому процесі, а також викликають невний інтерес у роботі екологічної служби підприємства в зв'язку з актуальністю проблеми і загальною меѓою підвищення ефективності технологій занобігання забруднення довкілля карбоновмісним шилом.

У результаті апробації зроблено висновок, що результати дисертаційного дослідження Горобей М.С. доцільно і надалі впроваджувати у виробничу діяльність підприємства для зменшення негативного впливу на довкілля.

Посада	підпис, печатка	ПІБ
Гол. інженер		В.Г. Кисельов

Додаток Г

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
ПЛИСЕЦЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР

ЄДРПОУ 03577160, ІПН 035771610079, Св-пл. ПДВ №13662821
тел. 044-495-33-03

Адреса:08622 Київська обл.,
Васильківський р-н.
с. Плесецьке, гранкар'єр

Вих. № 169 від 01.11.2019 р.

ДОВІДКА
иро впровадження результатів дисертаційного дослідження
Горобей Марини Сергіївни
«Зменшення негативного впливу на довкілля й людину техногенного забруднення карбоновмісним иилом»

Видана здобувачу наукового ступеня кандидата технічних наук Горобей Марини Сергіївні у тому, що виконані нею розробки в дисертації на тему «Зменшення негативного впливу на довкілля й людину техногенного забруднення карбоновмісним пилом» та сформульовані на підставі цього науково-обґрунтовані рекомендації з гідрознепилення повітря використані ТОВ «Плисецький гранітний кар'єр» у процесі вдосконалення технологій запобігання забруднення довкілля карбоновмісним пилом та використовуються у виробничому процесі.

Пропозиції дисертанта також викликають певний інтерес у роботі екологічної служби підприємства у зв'язку з актуальністю проблеми і загальною метою зменшення негативного впливу виробничої діяльності на довкілля.

Директор М.І. Нестеренко

Додаток Д

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи ДонНТУ,
д.т.н., проф.
С.В. Подкопаєв

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Горобей Марини Сергіївни «Зменшення негативного впливу на довкілля й людину техногенного забруднення карбоновмісним нилом», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безнека

Результати дисертаційного дослідження Горобей Марини Сергіївни за темою «Зменшення негативного внливу на довкілля й людину техногенного забруднення карбоновмісним нилом» впроваджені у навчальний процес підготовки студентів екологічних і гірничнх снеціальностей та використовуються під час викладання курсу лекцій, під час проведення лабораторних та практичних занять за дисциплінами «Екологічна безпека», «Техніка екологічно чистих та енергозберігаючих технологій», «Охорона праці в галузі» у Донецькому національному технічному університеті МОН України.

Теоретична цінпість результатів дисертаційного дослідження полягає у поглибленні знань майбутніх спеціалістів у сфері екологічної безпеки та захисту довкілля, природних ресурсів та природокористування, охорони праці, комплексного використання корисних копалин. Практична цінність полягає в удосконаленні професійних компетенції студентів у нитаннях зменшення забруднення повітря карбоновмісннм пилом.

Апробація результатів дисертаційного дослідження Горобей М.С. свідчить про їх високий теоретико-методологічний рівень та доцільність їх подальшого впровадження у практику навчально-виховного процесу вищих навчальних закладів технічних напрямів.

Зав. каф. природоохоронної діяльності
ДонНТУ, д.т.н., проф.. В.К. Костенко

Доцент каф. природоохоронної діяльності
ДонНТУ, к.т.н., доц.. О.Л. Зав'ялова

Додаток Е

МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА
АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ
ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ
03035, м. Київ-35, вул. Митрополита Василя
Липківського, 35, т./ф. (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

MINISTRY OF ENERGY AND
ENVIRONMENTAL PROTECTION OF
UKRAINE
STATE ECOLOGICAL ACADEMY OF
POST-GRADUATE EDUCATION AND
MANAGEMENT
35, Metropolitan Vasil Lypkivskyi str., Kyiv, 03035,
Ukraine, tel./fax (044) 206-31-87,
e-mail: dei2005@ukr.net

№ 755/1 від "18" листопада 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Державної екологічної академії
післядипломної освіти та управління
доктор біологічних наук, професор
О.І. Бондар
"18" листопада 2019 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційних досліджень Горобей Марини Сергіївни за темою: «Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом»

Комісія у складі: *голови комісії* – проректор з наукової роботи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, д.т.н, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Відмінник освіти України Машков О.А., *та члени комісії*: зам. директора ННІ екологічної безпеки та управління Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, д.т.н., доцент, лауреат Державної премії в галузі науки і техніки Єрмаков В.М., завідувач кафедри екології та екологічного контролю, д.б.н., с.н.с., Риженко Н.О., склала акт про впровадження результатів наукових досліджень на основі розглянутих матеріалів дисертаційної роботи Горобей М.С. «Зменшення негативного впливу на довкілля техногенного забруднення карбоновмісним пилом» у навчальний процес кафедри екологічної безпеки та кафедри екології та екологічного контролю Навчально-наукового інституту екологічної безпеки та управління ДЗ «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» при проведенні лекційних і практичних циклів під час підготовки магістрів за спеціальністю 101 «Екологія».

Результати дисертаційиих досліджень увійшли також до звітів НТР ДЗ «Державиа екологічна академія післядипломної освіти та управління»: «Моніторинг виконання прпродоохороннних робіт та екологічного стану природного довкілля діючих та ліквідованих вугільних підпрпємств, розроблення иропозицій щодо його поліпшення» (№ ДР 0116U005852) та НДР "Визначення впливу місця видалення відходів (зберігання залишків) ТОВ "Євро-Реконструкція" на забруднення атмосферного иовітря, ґруиту, поверхневих та підземних вод. Проведення експеримеитальиих робіт із зненилення шлаконакоиичувача" (номер держреєстрації 0118U001430) від 05.2018, та можуть бути використані при створеині нових та удосконаленні існуючих екологічно безнечних технологічних процесів із нонередження негативного внливу карбоиовмісного пилу на довкілля.

Запропонована математична модель дозволяє розшприти уявлення про взаємодію нилових і диснергованих водних струменів у гравітаційному і електростатичному полях.

Днсертаційні дослідження Горобей Марини Сергіївни мають важливе значення для науки і технічних розробок. Рекомендувати нродовжити дослідження в даиому нанрямку.

Голова комісії:
доктор технічних наук, нрофесор Машков О.А.

Члени комісії:
доктор технічних наук, доцент Єрмаков В.М.

доктор біологічних наук, с.н.с. Риженко Н.О.