

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ДАРМОФАЛ ЕЛЕОНОРА АНАТОЛІЇВНА**

УДК 504.3 [622.451/622.612] (043.3/5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ  
ПОВІТРЯ ШЛЯХОМ ФІЛЬТРАЦІЇ ШАХТОВИХ ВИКИДІВ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань – технічні науки

Подается на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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



Е. А. Дармофал

---

Науковий керівник: Адаменко Микола Ігорович, доктор техн. наук, професор

Суми – 2021

## АНОТАЦІЯ

**Дармофал Е.А. Зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів. На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет, 2021. Спеціалізована вчена рада Д55.051.04.

Дисертацію присвячено підвищенню рівня екологічної безпеки шляхом створення комбінованих систем фільтрації. Досліджено та впроваджено кілька розрахункових схем динамічних очисників повітря від пилу. Установлено, що на ступінь очищення впливає діаметр кільцевого каналу, частота його обертання, осьова довжина очисника й розміри порошин. З результатів розрахунків випливає, що запропоноване обладнання має ступінь очищення, характерний для фільтрів бар'єрного типу, причому не видається складним подальше поліпшення їх очисних характеристик.

Основні положення дисертаційної роботи присвячені результатам науково-прикладних досліджень із розробки екологічно-безпечної системи вентиляції шахтових комплексів з можливістю впровадження інноваційних способів очистки пилоповітряної суміші. Результати роботи пройшли достатню апробацію та мають впровадження, що підтверджено відповідними актами.

В роботі було проаналізовано методи розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різних умов експлуатації. Проте кожен з цих методів має обмежену галузь застосування. Виявлено, що актуальним завданням є створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел.

Доведено, що фільтрацію забрудненого шахтового пилу при викидах його в атмосферне повітря необхідно проводити у два етапи. На першому слід проводити очищення від частинок пилу великих розмірів, на другому – від дрібних, тим більше, що саме ці частки становлять найбільшу небезпеку для дихальних шляхів.

Запропоновано та обґрунтовано спосіб очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації. Розроблено інформаційну модель, вирішено важливу і досить складну наукову задачу щодо створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

На підставі теоретичного й експериментального дослідження підтверджено, теоретично можливий розмір часток основної маси шахтового пилу, що зумовлює перевищення гранично допустимої концентрації пилу в 1,2–2,0 рази на границі санітарно-захисної зони шахт.

Аналіз одержаних даних показав, що запропонований спосіб системи фільтрації вентиляційних викидів шахтового повітря є екологічно безпечним та доцільним.

Техногенний вплив на навколишнє середовище здійснюється через промисловість. На території Донбасу одним з найбільш поширених є підприємства гірничо-видобувного комплексу. Особлива увага приділяється попереджувальним заходам фільтрації забрудненого шахтного пилу при викидах його в атмосферне повітря. Однак останнім часом відзначається поступове нарощування виробничих потужностей гірничодобувної промисловості, що приводить до посилення негативного впливу техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Ситуація ускладнюється тим, що недосконалість системи фільтрації шахтних викидів впливає на підвищення рівня техногенного навантаження шахтних регіонів України, що свідчить про необхідність створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Вплив потенційно небезпечних об'єктів на навколишнє природне середовище та додержання нормативів шкідливих викидів у районах проведення гірничих робіт досліджували вітчизняні та закордонні науковці: Білецький В.С., Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М., Півняк Г.Г., Табаченко М.М., Дичковський Р.О., Фальштинський В.С., G. Tyler Miller, Living I.R., Burenin V.V. та інші. Проблема техногенно-екологічної безпеки

районів проведення гірничих робіт загострюється тим, що викиди в атмосферне повітря здійснюються переважно у промислових зонах, де має місце велика концентрація гірничо-видобувних підприємств та іншої промисловості.

Одним з головних напрямів зниження негативного впливу вугільної промисловості є заходи стабілізації та поліпшення стану навколишнього природного середовища шляхом фільтрації шахтових пилових викидів. Пилоподібні викиди, які потрапляють до атмосферного повітря, мають найбільшу можливість поширення та безпосередньо розподіляються за ознаками їх агрегатного стану, походження та місця утворення. При цьому до них належать як самовільні викиди, викиди з вентиляційних стовбурів шахт, так і ті, що утворюються у разі виникнення різних несприятливих надзвичайних ситуацій.

Останнім часом відзначається поступове нарощування виробничих потужностей гірничо-видобувних підприємств, що призводить до посилення негативного впливу потенційно небезпечних об'єктів на навколишнє природне середовище. Ситуація ускладнюється тим, що недосконалість системи фільтрації шахтових викидів впливає на підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки в районах проведення гірничих робіт України, що свідчить про необхідність удосконалення заходів стабілізації та поліпшення стану навколишнього природного середовища, а також створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Результати проведеного аналізу екологічного стану атмосферного повітря забруднених зон в районах проведення гірничих робіт свідчать про те, що можливість зниження шахтових викидів за допомогою покращення інфільтрації пилоподібних викидів в окремих регіонах значно покращить стан атмосферного повітря на усій території України.

Таким чином, задля створення ефективних умов безпечної життєдіяльності людини доцільною є розробка способів очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації. Досягнення поставленої мети було здійснено за допомогою

вирішення завдань аналізу стану екологічної безпеки атмосферного повітря в районах проведення гірничих робіт, методів розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різних умов експлуатації шахт.

По першому розділу було систематизовано дані та зроблено висновки, що екологічно небезпечний вплив гірничої промисловості на навколишнє природне середовище відбувається за найбільш імовірними напрямками впливів на атмосферу, гідросферу, літосферу і, як наслідок, відбувається погіршення стану здоров'я населення.

У другому розділі описано об'єкт і методи дослідження, методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, методики проведення експериментальних досліджень, дано оцінку надійності результатів експериментів, методику експериментальної перевірки ефективності пристроїв уловлювання дрібнодисперсних часток пилу.

Найбільша кількість домішок випадає на деякій відстані від джерела викиду за рахунок перенесення, що пояснюється високою інерційністю дрібнодисперсного пилу, частинки якого підхоплюються та переносяться з потоком вітру на значно більшу відстань, або навіть за межі санітарно-захисної зони, на відміну від крупнодисперсного. Кількість та об'єми газових домішок при проведенні розрахунків є не репрезентативними. Тому при розробці дієвих заходів щодо найбільш раціональних режимів зниження забруднення атмосферного повітря шахтовими викидами, розглядався шахтовий пил.

На прикладі Дніпропетровської області розглянуто вплив техногенного навантаження на навколишнє природне середовище від шахтових викидів в атмосферне повітря гірничо-видобувними підприємствами. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою багатоплатформового, вільно розповсюджуваного офісного пакету з відкритим вихідним кодом LibreOffice.

Для аеродинамічного розрахунку пристрою використовувався програмний комплекс FlowER. За результатами роботи, які представлено у другому розділі було обґрунтовано, що розвиток систем видобування вугілля та

інших корисних копалин в Україні потребує одночасної необхідності забезпечення паралельного розвитку та напрацювання нових систем екологічної безпеки на гірничо-видобувних підприємствах, який на даний час в значній мірі відстає від темпів зростання видобування. Результати роботи дали підґрунтя до формулювання наступних задач досліджень, що було сформульовано як запропонування найбільш раціональних режимів очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферне повітря; створення інформаційної моделі поширення забруднення в атмосферному повітрі, яка б дозволяла прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій та теоретичні дослідження щодо експериментального визначення розмірів частинок основної маси шахтового пилу, з метою визначення його концентрації на межі санітарно-захисних зон шахт.

Третій розділ роботи був присвячений інформаційно-розрахунковій системі поширення атмосферного забруднення та його мінімізації. В результаті розв'язання поставленої задачі було визначено кількісні межі режиму еволюції пилу в полі тяжіння. Було отримано рівняння, що описують еволюцію частинок пилу довільного розміру. Одним з висновків стало те, що очищення забрудненого шахтового повітря при викидах його в атмосферне необхідно проводити у два етапи. Якщо на першому проводити очищення від частинок пилу великих розмірів, то на другому – від дрібних, тим більше, що саме ці частки становлять найбільшу небезпеку для дихальних шляхів робітників та населення в цілому, а також було проаналізовані методи розрахунку концентрації домішок від точкових та лінійних джерел викидів при різних умовах експлуатації. Проте, враховуючи те, що кожен з цих методів має обмежену область застосування, було припущено, що необхідним є створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел, що і було запропоновано. В роботі було створено інформаційну модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів з заданими початковими та граничними умовами, що дозволяє прогнозувати розподіл концентрації

забруднювача у просторі та у часі практично для всіляких можливих ситуацій.

Матеріали роботи ,які представлені у четвертому розділі, було присвячено теоретичному обґрунтуванню комбінованих систем фільтрації шахтових викидів в атмосферне повітря гірничо-видобувними підприємствами. Запропоновано новий високоефективний небар'єрний принцип очищення пилової суміші шахтових викидів від дрібнодисперсних часток, що базується на активному способі очищення. Досліджено кілька розрахункових схем динамічних очисників повітря від пилу. Достовірно встановлено технічні параметри , які впливають на ступінь очищення пилових сумішей. Необхідно було б відзначити, що найбільш повне очищення екологічно небезпечних домішок викидів вентиляційних систем шахтних комплексів є можливим тільки при комбінаторному поєднанні декількох типів фільтрів з розрахунком повної системи очищення для кожного окремого комплексу. Авторкою було запропоновано первинний алгоритм для ухвалення управлінських рішень щодо етапів та процесів установки фільтруючих елементів.

Було доведено, що забезпечення необхідного і достатнього рівня екологічної профілактики по вентиляційних викидах можливо тільки при веденні постійного моніторингу складу внутрішньошахтного атмосферного повітря та спостереження за адекватністю технічної системи очищення. Тому авторкою було вирішено важливу складну наукову задачу створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи, якої було присвячено п'ятий розділ. Було експериментально та теоретично обґрунтовано, що задля забезпечення зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів необхідно забезпечити уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1-10 мкм) та описано, які саме технічні умови необхідно створити для виконання цієї задачі.

Таким чином, в роботі було узагальнено та, за допомогою теоретичних і практичних методів досліджень, обґрунтовано вирішення актуальної наукової задачі зниження техногенного навантаження на довкілля та забезпечення екологічної безпеки промислових регіонів України за допомогою впровадження

інноваційних комбінованих систем фільтрації шахтових викидів задля вирішення однієї з найважливіших і злободенних небезпек сьогодення – проблеми забруднення атмосферного повітря, яка давно набула глобального значення в екологічному та економічному аспектах.

**Ключові слова:** екологічна безпека, вентиляційні викиди, шахтний пил, система фільтрації, техногенне навантаження, дрібнодисперсні частки.



### Список публікацій здобувача:

1. Дармофал Е. А. Екологічна небезпечність шахтових комплексів та її зниження шляхом очищення вентиляційних викидів. *Науковий вісник будівництва* : збірник наукових праць. Харків, 2014. № 3 (77). С. 214-218.
2. Адаменко М. І., Дармофал Е. А. Оцінка екологічного ризику в шахтових регіонах комплексно-інформаційним методом. *Системи обробки інформації* : збірник наукових праць. Харків, 2014. вип. 8(124). С.171-173.
3. Дармофал Е. А., Адаменко Н. И. Техническое обслуживание систем наблюдения за экологически опасным влиянием шахтных выбросов на окружающую среду. *Вестник ДГМА*, 2014. № 1(32). С. 39-42
4. Адаменко Н. И., Дармофал Е. А. Математична модель поширення атмосфери з шахтових викидів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності* : збірник наукових праць. 2014. № 10. С. 163-172.
5. Русанов А. В., Дыхановский В. Н., Дармофал Е. А. Очистка экологически опасных вентиляционных выбросов шахтных комплексов путем создания комбинированных систем фильтрации. *Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый»*, 2014. № 19 (78). С. 240-243.
6. Дармофал Е. А. Інформаційне забезпечення екологічної безпеки вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом застосування системи автоматичного сповіщення та багаторівневої фільтрації. *Системи обробки інформації* : збірник наукових праць. Харків, 2015. вип. № 3(128). С. 121-124.
7. Darmofal Eleonora. Vliv na lidske zdravi ekologicky nebezpecne exploze duln s necistoty ve ventilacnich systemach. *Modern science-Moderni veda*. Praha. Ceska republika. Nemoros, 2015. № 3. P. 193-198.
8. Адаменко М. І., Халмурадов Б. Д., Дармофал Е.А. Інформаційна модель поширення забруднення атмосфери на об'єктах гірничо-видобувного виробництва : збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків, 2017. вип. № 3(52). с. 126-131.

*Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації*

9. Дармофал Е. А., Доронін Є. В. Інформаційне моделювання мінімізації екологічно небезпечного впливу викидів вентиляції шахтових комплексів. *Методи підвищення ресурсу інженерних інфраструктур* : матеріали VI Всеукраїнського науково семінару. Харків, 2014. С. 32-34.

10. Дармофал Е. А., Адаменко М. І. Системна профілактика силікозу, який виникає у наслідок вентиляційних викидів систем шахтових комплексів. *Інноваційні напрями рекреації, фізичної реабілітації та оздоровчих технологій* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2014. С. 30-35.

11. Дармофал Е. А. Моделирование снижения экологической опасности выбросов шахтных комплексов. *Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления* : материалы IV Международной научно-технической конференции. Полтава, Баку, Белгород, Кировоград, Харьков, 2014. С. 67.

12. Дармофал Е.А. Локалізація аварійного впливу на шахтерів небезпечних факторів пилового забруднення шахтових комплексів. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2015. С. 54.

13. Дармофал Е. А. Системы локализации пылевых выбросов. *Наукові розробки, передові технології, інновації* : тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2016. С. 27.

14. Халмурадов Б. Д., Дармофал Е. А. Математичне моделювання процесів вентиляювання шахтових комплексів. *Проблеми інформатизації* : тези доповідей п'ятої міжнародної науково-технічної конференції. Черкаси, Баку, Бельсько-Бяла, Полтава, 2017. С. 3.

15. Дармофал Е. А. Засоби підвищення екологічної безпеки шахтових викидів шляхом покращення інфільтрації пилогазоподібних відходів.

*Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу* : матеріали науково-технічної конференції. Харків, 2018. С. 30.

16. Адаменко М. І., Дармофал Е. А. Динамічна модель розповсюдження атмосферних забруднень на базі результатів екомоніторингу. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції Баку. Харків – Жиліна, 2020. С. 65.

## ABSTRACT

**Darmofal E.A. Reducing of an anthropogenic load on the atmospheric air by filtering mine emissions. As a manuscript.**

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in the specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy State University, 2021. Specialized Academic Council D55.051.04.

The dissertation is devoted to increasing the level of ecological safety by creating combined filtration systems. Several calculation schemes of dynamic dust air purifiers have been studied and implemented. It is established that the degree of cleaning is influenced by the diameter of the annular channel, its frequency of rotation, the axial length of the cleaner and the size of the dust. The results of the calculations show that the proposed equipment has a degree of purification characteristic of barrier-type filters, and it does not seem difficult to further improve their cleaning characteristics.

The main provisions of the dissertation are devoted to the results of scientific and applied research on development of environmentally friendly ventilation system of mine complexes with the possibility of introducing innovative methods of cleaning the dust-air mixture.

The results of the work have passed sufficient testing and are implemented, which is confirmed by the relevant acts.

The methods for calculating the concentration of impurities from point sources of emission under different operating conditions were analyzed. However, each of these methods has a limited scope. Revealed, that the urgent task is to create a universal method of calculation, common to different types of sources.

It is proved that the filtration of contaminated mine dust during its emissions into the atmosphere must be carried out in two stages. The first one should be cleaned of large dust particles, the second - of small, especially as these particles are the greatest danger to the respiratory tract.

A method of cleaning environmentally hazardous ventilation emissions of mine complexes by creating combined filtration systems is proposed and substantiated. An information model has been developed, an important and rather complex scientific task has been solved to create reliable emission monitoring systems and ensure their trouble-free operation.

Based on theoretical and experimental research was confirmed that the bulk of mine dust is theoretically possible and has a particle size in the range of 1-10 $\mu$ m, which causes the maximum permissible dust concentration to be exceeded by 1.2–2.0 times at the boundary of the mine protection zone.

Based on the analysis of the obtained data, it becomes obvious that the proposed method of filtration system of ventilation emissions of mine air is environmentally friendly and feasible.

Man-made impact on the environment is carried out through industry. In the territory of Donbass one of the most widespread are the enterprises of a mining complex. Particular attention is paid to preventive measures for filtration of contaminated mine dust during its emissions into the atmosphere. However, there has recently been a gradual increase in production capacity of the mining industry, which leads to an increase in the negative impact of man-made load on the environment.

The situation is complicated by the fact that the imperfection of the mine emission filtration system affects the level of man-caused load of the mine regions of Ukraine, which indicates the need to create reliable systems for monitoring emissions and ensuring their trouble-free operation.

The impact of potentially dangerous objects on the environment and compliance with harmful emissions standards in mining areas was studied by domestic and foreign scientists: Biletsky VS, Voytsytsky AP, Dubrovsky VP, Bogolyubov VM, Pivnyak GG, Tabachenko MM, Dychkovsky RO, Falshtynsky VS, G. Tyler Miller, Living IR, Burenin VV and others.

The problem of man-made and environmental safety of mining areas is exacerbated by the fact that air emissions are carried out mainly in industrial areas,

where there is a high concentration of mining enterprises and other industries. One of the main ways to reduce the negative impact of the coal industry is to stabilize and improve the environment by filtering mine dust emissions. Dust emissions that enter the atmosphere have the greatest potential for spread and are directly distributed on the basis of their physical state, origin and place of formation. In this case, they include both unauthorized emissions: emissions from the ventilation shafts of mines and those that are formed in the event of various adverse emergencies.

There has recently been a gradual increase in the production capacity of mining companies, which leads to an increase in the negative impact of potentially dangerous objects on the environment. The situation is complicated by the imperfection of the mine emission filtration system affects the level of man-made environmental safety in the areas of mining in Ukraine, which indicates the need to improve measures to stabilize and improve the environment, as well as create reliable emission monitoring systems. The results of the analysis of the ecological state of atmospheric air of polluted zones in mining areas indicate that the possibility of reducing mine emissions by improving the infiltration of dust emissions in some regions will significantly improve the state of atmospheric air throughout Ukraine.

Thus, in order to create effective conditions for safe human life, it is advisable to develop environmentally hazardous ventilation emission cleaning methods from mine complexes by creating combined filtration systems.

Achieving this goal was achieved by solving the problems of analysis of environmental safety of air in mining areas, methods of calculating the concentration of impurities from point sources of emissions under different operating conditions of mines.

The first unit systematized the data and concluded that the environmentally hazardous impact of the mining industry on the environment occurs in the most likely areas of impact on the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and, consequently, the deterioration of public health.

The second unit describes the object and methods of research, methods of calculating concentrations of harmful substances in the air, methods of experimental

research, evaluates the reliability of experimental results, methods of experimental verification of the effectiveness of devices for capturing fine dust particles.

The largest amount of impurities falls at some distance from the emission source due to transfer, due to the high inertia of fine dust, particles of which are picked up and transported with the wind flow to a much greater distance, or even outside the sanitary protection zone, in contrast to coarse. The amount and volume of gaseous impurities in the calculations are not representative. Therefore, in developing effective measures for the most rational modes of reducing air pollution by mine emissions, mine dust was considered.

On the example of Dnipropetrovsk region the influence of man-made load on the environment from mine emissions into the atmosphere by mining enterprises is considered. Experimental data processing was performed using a multi-platform, freely distributable open source office suite LibreOffice. FlowER software was used for aerodynamic calculation of the device.

Based on the results of the work presented in the second unit, it was substantiated that the development of coal and other mining systems in Ukraine requires the simultaneous need to ensure parallel development and development of new environmental safety systems at mining enterprises, which currently lags far behind. The results of the work provided a basis for the formulation of the following research objectives, which was formulated as a proposal for the most rational modes of purification of dust-contaminated mine air during its emissions into the atmosphere; creation of an information model of air pollution distribution, which would predict the distribution of pollutant concentrations in space and time for almost any possible emergencies and theoretical studies on experimental particle size determination of the bulk of mine dust, in order to determine its concentration at the sanitary boundary.

The third unit was devoted to the information and calculation system for the spread of air pollution and its minimization. As a result of solving this problem, the quantitative limits of the mode of evolution of dust in the gravitational field were determined. Equations describing the evolution of dust particles of arbitrary size were

obtained. One of the conclusions was that the purification of polluted mine air during its emissions into the atmosphere must be carried out in two stages. If on the first to carry out clearing of dust particles of the big sizes, on the second - from small, especially as these particles represent the greatest danger to respiratory tracts of workers and the population as a whole, and also methods of calculation of concentration of impurity from point and linear sources were analyzed.

However, given that each of these methods has a limited scope, it was assumed that it is necessary to create a universal method of calculation, unique to different types of sources, which was proposed. The paper created an information model of the distribution of air pollution from mine emissions with given initial and boundary conditions, which allows to predict the distribution of pollutant concentration in space and time for almost all possible situations. The materials of the work, which are presented in the fourth unit, were devoted to the theoretical substantiation of combined systems of filtration of mine emissions into the atmosphere by mining enterprises. A new highly efficient non-barrier principle of purification of the gas mixture of mine emissions from fine particles based on the active purification method is proposed. Several calculation schemes of dynamic dust purifiers have been studied. The technical parameters that affect the degree of purification of dust mixtures are reliably established. It should be noted that the most complete treatment of environmentally hazardous impurities emissions from ventilation systems of mine complexes is possible with a combinatorial combination of several types of filters with the calculation of a complete treatment system for each individual complex only.

The author proposed a primary algorithm for making management decisions about the stages and processes of installation of filter elements. It was proved that the provision of the necessary and sufficient level of environmental prevention of ventilation emissions is possible with constant monitoring of the composition of indoor air and monitoring the adequacy of the technical treatment system only. Therefore, the author solved an important complex scientific problem of creating reliable systems for monitoring emissions and ensuring their trouble-free operation, which was devoted to the fifth unit.



It was experimentally and theoretically substantiated that in order to reduce the man-made load on the atmosphere by filtering mine emissions, it is necessary to capture fine dust fractions (1-10  $\mu\text{m}$ ) and describe what technical conditions need to be created to perform this task.

Thus, the paper summarizes and, with the help of theoretical and practical research methods, substantiates the solution of the current scientific problem of reducing man-made environmental impact and environmental safety of industrial regions of Ukraine through the introduction of innovative combined mine emission filtration systems to solve one of the most important and urgent dangers for today - the problem of air pollution, which has long gained global importance in environmental and economic aspects.

**Key words:** environmental safety, ventilation emissions, mine dust, filtration system, development pressure, fine particles.

### List of publisher publications:

#### Scientific papers, in which the main scientific results of the dissertation are published

1. Darmofal E. A. Ecological danger of mine complexes and it's reduction by cleaning of ventilation emissions. *Scientific Bulletin of Construction* : a collection of scientific works. Kharkiv, 2014. No. 3 (77). P. 214-218.
2. Adamenko M. I., Darmofal E. A. Estimation of ecological risk in mining regions by the complex information method. *Systems of information processing* : a collection of scientific works. Kharkiv, 2014. Issue 8 (124). P. 171-173.
3. Darmofal E. A, Adamenko N. I. Technical maintenance of monitoring systems for ecologically dangerous influence of mine emissions on the environment. *Visnyk of the DSMBA*. 2014. No. 1 (32). Pp. 39-42
4. Adamenko N. I., Darmofal E. A. Mathematical model of the propagation of the atmosphere from mine emissions. *Visnyk of the Lviv State University of Life Safety* : a collection of scientific works. 2014. No. 10. P. 163-172.
5. Rusanov A. V., Dyhanovsky V. N., Darmofal E. A. Cleaning of environmentally hazardous ventilation emissions of mine complexes by creating combined filtration systems. *Monthly Scientific Journal "Young Scientist"*, 2014. No.19 (78). P. 240-243.
6. Darmofal E. A. Information provision of ecological safety of ventilation emissions of mine complexes by means of application of automatic notification system and multilevel filtering. *Systems of information processing*: a collection of scientific works. Kharkiv, 2015. Issue No. 3 (128). P. 121-124.
7. Darmofal Eleonora. Vliv na lidske zdravi ekologicky nebezhecne exploze duln s necistoty ve ventilacnich systemach. *Modern science-Moderni veda*. Praha. Ceska republika. Nemoros. 2015. № 3. P. 193-198.
8. Adamenko M. I., Halmuradov B. D., Darmofal E. A. Informational model of the spread of atmospheric pollution at mining and production facilities : a collection of scientific works of Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces. Kharkiv, 2017. vp. No. 3 (52). P. 126-131

**Scientific papers, which testify to the approbation of the materials of the  
dissertation**

9. Darmofal E. A., Doronin E. V. Informational modeling of minimization of ecologically dangerous influence of mine exhaust ventilation emissions. *Methods of increasing the resource of engineering facilities: materials of the VI All-Ukrainian scientific seminar*. Kharkiv, 2014. P. 32-34.

10. Darmofal E. A., Adamenko M. I. Systemic prophylaxis of silicosis which arises as a result of ventilation emissions of systems of mine complexes. *Innovative directions of recreation, physical rehabilitation and health-improving technologies : materials of the VII International scientific and practical conference*. Kharkiv, 2014. P. 30-35.

11. Darmofal E. A. Modeling of reduction of environmental hazard of mine complexes emissions. *Modern areas of development of information and communication technologies and means of management: materials of the IV International scientific and technical conference*. Poltava, Baku, Belgorod, Kirovograd, Kharkov, 2014. P. 67.

12. Darmofal E. A. Localization of emergency influence on miners of dangerous factors of dust pollution of mine complexes. *Modern directions of development of information and communication technologies and means of management: materials of the 5th international scientific and practical conference*. Kharkiv, 2015. P. 54.

13. Darmofal E. A. Systems of localization of dust emissions. *Scientific developments, advanced technologies, innovations : abstracts of reports of the II International scientific and practical conference*. Kharkiv, 2016. P. 27.

14. Khalimuradov B. D., Darmofal E. A. Mathematical modeling of ventilation processes of mine complexes. *Problems of informatization : abstracts of reports of the fifth international scientific and technical conference*. Cherkasy, Baku, Bielsko-Biala, Poltava, 2017. P. 3.

15. Darmofal E. A. Means of increasing the ecological safety of mine emissions by improving the infiltration of dust-like waste. *Innovative aerospace*

*technologies in environmental monitoring* : materials of the scientific and technical conference. Kharkiv, 2018. P. 30.

16 Adamenko MI, Darmofal EA: Dynamic model of air pollution distribution based on the results of ecomonitoring. Modern directions of development of information and communication technologies and management tools: abstracts of reports of the tenth international scientific and technical conference Baku - Kharkiv - Zilina, 2020. P. 65.

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів.....   | 23  |
| Вступ.....   | 26  |
| Розділ 1 Аналіз стану екологічної ситуації навколо гірничо-видобувних підприємств .....  | 33  |
| 1.1 Сучасний стан екологічного забруднення атмосферного повітря навколо гірничо-видобувних підприємств.....                    | 33  |
| 1.2 Аналіз даних науково-технічної літератури щодо основних забруднювачів повітря навколо гірничо-видобувних підприємств ..... | 45  |
| 1.3 Теоретичні основи шкідливих і небезпечних факторів при роботі в гірничо-видобувних підприємствах .....                     | 49  |
| 1.4 Огляд можливих небезпечних ситуацій на шахтах та заходи протидії...  | 53  |
| 1.5 Комплекс заходів щодо попередження раптових викидів.....   | 59  |
| 1.6 Аналіз непередбачених подій, що можуть самовільно виникнути на гірничо-видобувних підприємствах .....                      | 61  |
| 1.7 Постановка завдань дослідження.....  | 66  |
| Розділ 2 Характеристика об'єкта та опис методів дослідження.....   | 68  |
| 2.1 Об'єкт і предмет дослідження.....  | 68  |
| 2.2 Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин.....   | 71  |
| 2.3 Методики проведення експериментальних досліджень.....  | 72  |
| 2.4 Оцінка надійності результатів експериментів.....   | 76  |
| 2.5 Методика експериментальної перевірки ефективності пристроїв уловлювання дрібнодисперсних часток пилу.....                  | 80  |
| 2.6 Характеристика об'єкта дослідження.....  | 81  |
| 2.7 Висновки до другого розділу .....  | 101 |
| Розділ 3 Інформаційно-розрахункові системи розповсюдження атмосферного забруднення та його мінімізація .....                   | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.1. Стислий огляд методів розрахунку забруднення атмосферного повітря.....  | 103 |
| 3.2. Розв’язання завдання розрахунку концентрацій викидів шкідливих речовин, що містяться у викидах гірничо-видобувних підприємств .....       | 111 |
| 3.2.1 Завдання про седиментацію.....   | 111 |
| 3.2.2 Розв’язання типового завдання про еволюцію хмари пилу в полі тяжіння .....   | 113 |
| 3.2.3 Інформаційна модель поширення забруднення атмосферного повітря паливними викидами з гірничо-видобувних підприємств.....                  | 114 |
| 3.3 Висновки до третього розділу .....   | 127 |
| Розділ 4 Теоретичне обґрунтування комбінованих систем фільтрації шахтових викидів в атмосферне повітря гірничо-видобувними підприємствами..... | 129 |
| 4.1. Очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтних комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації.....             | 129 |
| 4.2. Технічне обслуговування систем спостереження за екологічно небезпечним впливом шахтних викидів в навколишнє природне середовище.....      | 135 |
| 4.3 Висновки до четвертого розділу.....  | 140 |
| Розділ 5 Результати експериментальних досліджень мінімізації вмісту пилу в шахтових викидах в атмосферне повітря.....                          | 142 |
| 5.1. Результати експериментальних досліджень .....   | 142 |
| 5.2. Експериментальна перевірка ефективності пристроїв уловлювання дрібнодисперсних часток пилу .....  | 147 |
| 5.3. Висновки до п’ятого розділу .....   | 151 |
| Висновки.....  | 152 |
| Перелік використаних джерел  | 154 |
| Додатки.....   | 169 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення, символи

$Re$  – число Рейнольдса;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості;

$d$  – характерний розмір;

$t$  – температура;

$W_\phi$  – швидкість фільтрації;

$C$  – масова концентрація домішок;

$u$  – швидкість вітру;

$m$  – маса частинки;

$\phi_0$  – дисперсія напрямку вітру;

$K$  – коефіцієнт турбулентної дифузії;

$B$  – експериментальний коефіцієнт;

$\Psi$  – функція току;

$C$  – масова концентрація домішок;

$u$  – швидкість вітру;

$x, y, z$  – система прямокутних координат, у якій вісь  $X$  збігається зі спрямуванням вітру, а вісь  $Z$  – вертикальна;

$K_x, K_y, K_z$  – коефіцієнти турбулентної дифузії у спрямуванні вісей  $X, Y, Z$  відповідно;

$M$  – маса частинки;

$S_y, S_z$  – «віртуальні коефіцієнти дифузії» у напрямку координатних вісей;

$n$  – дорівнює 0 або 1, залежно від профілю швидкості вітру;

$l$  – довжина джерела;

$b$  – ширина джерела;

$h$  – відстань від поверхні;

$B_\varphi$  – параметр, що характеризує горизонтальне коливання вісі факелу під час відхилення вітру від заданого напрямку;

$L$  – витрати повітря у викиду;

$A$  – комплексний множник;

$P(A)$  – імовірність події  $A$ ;

$P(C_k/A)$  імовірність події  $C_k$  за умови, що подія  $A$  відбулася;

$\delta$ , мкм – розмір аеродинамічного ефективного діаметра частки,  $\delta = 0,8l$ ,

де  $l$  – довжина частки;

$N\Delta i$  – кількість часток пилу в діапазоні  $\Delta i$ ;

$m\Delta i$  – маса часток пилу в діапазоні  $\Delta i$ ;

$\varphi(\delta)$  – функція щільності розподілу маси пилу за діаметрами часток;

$D(\delta)$  – функція розподілу маси пилу за діаметрами часток

$AMAD(\delta_{50})$  – аеродинамічний медіанний по активності діаметр маси часток.



## Скорочення

ВГРЧ – воєнізованих гірничорятувальних частин

ВГП – вентиляторів головного провітрювання

ГДК – гранично допустима концентрацію

ПБ – правил безпеки

АРМ – автоматизовані робочі місця

НВО – науково-виробниче об'єднання

ПК – програмний комплекс

СЗЗ – санітарно-захисної зони

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Однією з найважливіших і злободенних небезпек сьогодення є проблема забруднення атмосферного повітря, яка давно набула глобального значення в екологічному та економічному аспектах.

Забруднене повітря негативно впливає на здоров'я людей, що проявляється через зростання захворюваності, скорочення середньої тривалості життя, збільшення кількості передчасних смертей та справляє негативний вплив на рівень працездатності населення. Екологічна ситуація в районах проведення гірничих робіт в Україні на сьогодні є досить складною та небезпечною. Тільки впровадження природоохоронних заходів, поряд з раціональним природокористуванням, можуть привести до зміни екологічної ситуації, зниження концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі.

Особлива увага приділяється питанню підвищення ризику глобального забруднення атмосфери Землі, значну частку у зміну якого вносять регіони проведення гірничих робіт. На сьогоднішній день перелік генерованих вугільними шахтами екологічних проблем для атмосферного повітря значний, до основних можна віднести: викиди отруйних речовин (формальдегід, діоксид азоту, фенол, бенз(а)пірен, фтороводень, оксид вуглецю, завислі речовини); викиди парникових газів та твердих часточок; випаровування летких отруйних речовин із відстійників; пилове забруднення (здування отруйних речовин із золо-, шлако- і шламовідвалів, териконів); забруднення атмосферного повітря викидами від стаціонарних та пересувних джерел (золою від ТЕЦ, формальдегідами, діоксидом азоту та ін.); забруднення повітря внаслідок діяльності підприємств нафтогазового комплексу та під час спалювання газу у факелах; транскордонне перенесення забруднювальних речовин повітрям у прикордонних областях.

Ця тема досить широко обговорюється в науковій літературі й відображена в багатьох законодавчих та нормативно-правових актах України. Найважливішою частиною вищезазначеної проблеми є вирішення завдань щодо

досягнення максимально високого ступеня очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів вугільних шахт.

Враховуючи вищезазначене, виникає необхідність у створенні більш ефективних фільтруючих систем у порівнянні з тими, які нині застосовуються в гірничій промисловості. Вирішенню цієї проблеми присвячені праці таких вітчизняних та зарубіжних науковців, як Т.П. Волкова, Ю.П. Волков, Л.Л. Гурець, В.Н. Дихановський, М.А. Ємець, П.І. Копач, В.Є. Колесник, А.В. Павличенко, А.В. Русанов, М.І. Суханов, P.S. Abhishek, P.N. Ramachandran.

Очищення пилових шахтових викидів від різного роду домішок (твердих частинок, крапель, диму та ін.) є актуальним науковим завданням в діяльності гірничо-видобувних підприємств, а також у питаннях захисту навколишнього природного середовища. До основних вимог, що висуваються до апаратів пилоочищення, належить їх висока експлуатаційна надійність і достатня ефективність очищення. Чим дрібніші частки пилу вловлюються і чим вищим є ступінь очищення газів, тим більшими є питомі капітальні витрати на спорудження таких установок та витрати на їх утримання й експлуатацію. Все вищезазначене є актуальною науково-прикладною задачею та дозволило сформулювати мету й завдання дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основні завдання дисертаційної роботи щодо постановки задачі досліджень, методів і засобів їх розв'язання відповідають Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», Постанові Верховної Ради України «Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони навколишнього природного середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» та Концепції Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013-2020 рр.

Основні дослідження роботи проводилися у межах виконання плану науково-дослідних робіт кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності

Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна за тематикою «Підвищення рівня екологічної безпеки територій у зоні шахтових викидів», згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0116U008943) на 2016-2018 рр., в якій автор брав участь як відповідальний виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря регіонів у зоні впливу шахтових викидів шляхом їх фільтрації.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- провести аналіз стану екологічної безпеки атмосферного повітря в районах проведення гірничих робіт;
- проаналізувати методи розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різних умов експлуатації шахт;
- запропонувати найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферне повітря;
- створити інформаційну модель поширення забруднення в атмосферному повітрі, яка б дозволяла прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій;
- теоретично дослідити та експериментально визначити розмір частинок основної маси шахтового пилу, з метою визначення його концентрації на межі санітарно-захисних зон шахт;
- розробити й експериментально перевірити комбіновану систему фільтраційного очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів.

*Об'єкт дослідження* – процес техногенного забруднення атмосферного повітря шахтовими викидами.

*Предмет дослідження* – підвищення рівня екологічної безпеки регіону шляхом фільтрації шахтового повітря.

**Методи дослідження.** Теоретичні аспекти дисертаційної роботи ґрунтуються на системному підході до вирішення проблеми оцінювання впливу шахтових викидів на атмосферне повітря регіону. Дослідження проводились з використанням математичного моделювання, планування проведення експериментів, аналітичних й експериментальних методів визначення впливу параметрів, що визначають екологічну безпеку атмосферного повітря в районах шахтових викидів. Під час проведення експериментальних досліджень застосовувалися стандартні методи визначення хімічних речовин. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою багатоплатформового, вільно розповсюджуваного офісного пакету з відкритим вихідним кодом LibreOffice.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- вперше визначено, що методи розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різними умовами експлуатації мають обмежену зону застосування, що потребує створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел;
- вперше створено інформаційну модель визначення поширення забруднення атмосферного повітря шахтовими викидами із заданими початковими та граничними умовами, що дозволяє прогнозувати розподіл концентрації забруднюючих речовин у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій;
- вперше науково обґрунтовано та експериментально підтверджено спосіб очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації;
- удосконалено систему визначення екологічно небезпечного впливу гірничої промисловості на навколишнє природне середовище за найбільш імовірними напрямками.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено й експериментально перевірено комбіновану систему фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів. Запропоновано

найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферу. Створено інформаційну модель визначення поширення забруднення атмосферного повітря шахтовими викидами із заданими початковими та граничними умовами, які дозволяють прогнозувати розподіл концентрації забруднюючих речовин у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій. Зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів дозволило досягти уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1–10 мкм) у шахтових викидах, шляхом застосування на другій стадії очищення шахтового повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток на 95–99%.

Результати дисертаційних досліджень у розділі дослідно-промислових випробувань розробленої комбінованої системи фільтрації екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів було впроваджено у діяльність виробничого структурного підрозділу (далі – ВСП) «Шахтоуправління Дніпровське» приватного акціонерного товариства (далі – ПрАТ) «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта імені М.І. Сташкова» (акт впровадження від 21.11.2017 р.) та у діяльність ВСП «Шахтоуправління Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта «Дніпровська» (акт впровадження від 07.02.2018 р.).

Результати дисертаційних досліджень упроваджено у навчальний процес Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна під час підготовки і викладання навчальної дисципліни «Екологічна безпека» (акт впровадження від 17.02.2021 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає у проведенні критичного аналізу стану проблеми екологічної безпеки атмосферного повітря в районах проведення гірничих робіт, створенні експериментальних установок, розробці й апробації методики експериментального дослідження, обробці та узагальненні математичних даних.

Наукові результати, які викладені в дисертаційній роботі, отримані особисто автором, а саме: розроблено і експериментально перевірено комбіновану систему фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником – доктором технічних наук, професором М.І. Адаменко. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено у списку праць за темою дисертації.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових і науково-практичних конференціях, а саме на: VI Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу інженерних інфраструктур» (м. Харків, 2014); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні напрями рекреації, фізичної реабілітації та оздоровчих технологій» (м. Харків, 2014); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления» (Полтава – Баку – Белгород – Кіровоград – Харків, 2014); V Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Харків, 2015); II Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові розробки, передові технології, інновації» (м. Харків, 2016); V Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми інформатизації» (Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Полтава, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу» (м. Харків, 2018); Десятій Міжнародній науково-технічній конференції «Динамічна модель розповсюдження атмосферних забруднень на базі результатів екомоніторингу» (Баку – Харків – Жиліна, 2020).

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць: 8 статей, зокрема 6 – у фахових виданнях, що входять до

переліку МОН України, 1 – у спеціалізованому закордонному виданні, 1 – в інших виданнях, 8 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 189 сторінок, з яких 129 сторінок основного тексту. Дисертація містить 32 рисунки та 4 таблиці за текстом. Список використаних джерел містить 123 найменування на 13 сторінках. Вісім додатків розміщені на 14 сторінках.



# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НАВКОЛО ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

### 1.1 Сучасний стан екологічного забруднення атмосферного повітря навколо гірничо-видобувних підприємств

Забруднення атмосферного повітря є однією із найсерйозніших екологічних проблем багатьох країн світу. Вплив забрудненого повітря на здоров'я людини проявляється через скорочення середньої тривалості життя, збільшення кількості передчасних смертей, росту захворюваності й негативного впливу на працездатність [1].

Україна не є винятком. Для нашої країни характерна складна екологічна ситуація, зумовлена наявністю і концентрацією підприємств чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії та нафтохімії, гірничодобувної промисловості, цементних заводів. Серед регіонів, які є безперечними лідерами за рівнем забруднення повітря вважається Донбас. До найбільш забруднених місць відносяться Авдіївка, Горлівка, Єнакієве, Макіївка, Харцизьк, Ясинувата, Костянтинівка, Маріуполь а також міста Запоріжжя, Кам'янське, Дніпро, Кривий Ріг [1].

Донбас є найбільшим промисловим регіоном України. Екологічна обстановка Донбасу вважається дуже складною. Забруднення атмосферного повітря в цьому регіоні відіграє велику роль у формуванні несприятливої екологічної ситуації. Високий ступінь урбанізації, значний промисловий потенціал, наявність підприємств, що належать до 1-го класу небезпеки, висока концентрація транспорту в комбінації зі значною щільністю населення створили величезне навантаження на біосферу цього регіону. Для Донбасу, як промислового мегаполіса, питання забруднення повітряного середовища особливо актуальні. За даними Міністерства охорони навколишнього природного середовища, з 53 міст, у яких проводяться спостереження за станом

атмосферного повітря на стаціонарних постах, Донбас входить до числа регіонів України з високим рівнем забруднення й займає 4 місце в світі [1-2]. Серед інших проблем шахтарського краю – підвищене пилоутворення. В цьому регіоні спостерігаються часті суховії, які можуть переходити в пилові бурі. Пилоутворенню сприяють порушення ґрунтового шару на великих територіях, а інколи і повна його відсутність. Численні терикони і відвали, хвостосховища відходів збагаченої залізної руди вносять свій внесок у забруднення місцевої атмосфери. Тільки в самому Донбасі експлуатується 22 гірничо-видобувних підприємства, терикони яких розташовані в безпосередній близькості від житлових кварталів. В Макіївці розташовано 18 шахт та 4 вуглезбагачувальні фабрики, один із найбільших в Україні це металургійний комбінат, два коксохімічних та труболиварний заводи. В Горлівці знаходяться 9 шахт та 5 вуглезбагачувальних фабрик, два крупних хімічних підприємства, ртутний комбінат, коксохімзавод, підприємства машинобудування та металообробки. В Єнакієве – 10 шахт, центральна вуглезбагачувальна фабрика, металургійний та коксохімічний заводи, відбувається добича вапняку. В Торезі – 10 шахт, 4 вуглезбагачувальні фабрики, підприємства машинобудування та будіндустрії. В Костянтинівці – підприємства з виплавки цинку та свинцю, три склозаводи [3]. Отже, викиди підприємств різних міст, сконцентровані на порівняно невеликій території, формують досить стійкий зміг, який цілий рік висить над містами.

Як вважають вчені зі світовим досвідом, найбільшу екологічну небезпеку представляють тверді, рідкі й пилогазоподібні відходи виробництва, що утворюються в ході гірничопромислової діяльності, і містять у своєму складі різні токсичні речовини й сполуки [4]. Незважаючи на загальний спад виробництва, надходження їх в навколишнє середовище практично не знижується через відсутність надійних та ефективних способів їх локалізації й знешкодження.

Отже, під джерелом забруднення атмосфери зазвичай розуміють об'єкт, від якого забруднюючі речовини надходять в атмосферне повітря. Як відомо, усі джерела антропогенного забруднення підрозділяються на точкові, лінійні й

площинні (рис. 1.1). До точкових стаціонарних джерел забруднення відносяться димарі теплоелектростанцій, опалювальних котелень, технологічних установок, печей і сушарок, витяжні шахти, дефлектори, вентиляційні труби й таке інше [2, 3, 4].

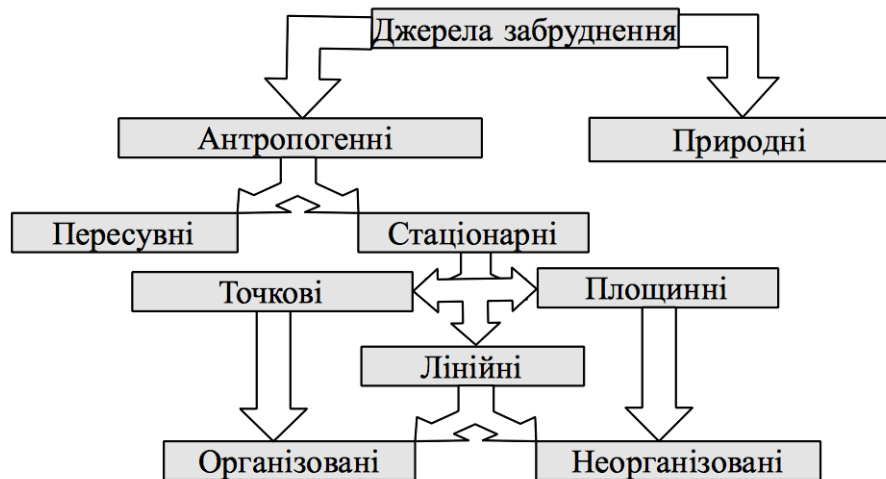


Рисунок 1.1 – Схема класифікації джерел забруднення атмосфери

Пересувними джерелами забруднення є вихлопні труби тепловозів, теплоходів, літаків, автотранспорту та інших пристроїв, що рухаються. Лінійні джерела забруднення повітряного басейну являють собою дороги й вулиці, по яких систематично рухається транспорт. До площинних джерел відносяться вентиляційні ліхтарі, вікна, двері, нещільності встаткування, будівель, таке інше, через які домішки надходять в атмосферне повітря.

Залежно від характеру викидів промислові виробництва діляться на чотири групи:

- виробництва з умовно чистими вентиляційними викидами й концентрацією шкідливих речовин, що не перевищує ГДК (гранично допустимих концентрацій) у робочій зоні;
- виробництва з викидами неприємно пахучих речовин;
- виробництва з викидами значних кількостей газів, що містять нетоксичні або інертні речовини;

- виробництва з викидами токсичних речовин, що дратують, сенсibilізуючих, канцерогенних, мутагенних речовин, а також сполук, що впливають на репродуктивну функцію організму.

Забруднюючі речовини, що утворюються у шахтних регіонах, можна віднести до усіх чотирьох груп.

Джерела забруднення повітря підрозділяються на джерела викидів і джерела виділення шкідливих речовин. Перші – це труби, вентиляційні шахти, дихальні клапани резервуарів, тощо; другі – технологічні установки, апарати, агрегати, очисні спорудження, градирні та ін.

Викиди промислових підприємств поділяються на організовані й неорганізовані. Організованими називають такі викиди, які здійснюються за допомогою спеціально споруджених газоходів, повітроводів і труб. Неорганізовані – це промислові викиди, що надходять в атмосферне повітря у вигляді ненаправлених потоків газу в результаті порушення герметичності встаткування, відсутності або незадовільної його роботи (наприклад, по відсмокчу газу в місцях перевантаження або зберігання продукту).

Виходячи з характеру гірничо-видобувного виробництва, викиди цих підприємств можуть бути як організованими, так і неорганізованими, а також тут присутні й джерела виділення шкідливих речовин.

Викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря залежно від способу їх утворення поділяють на технологічні, вентиляційні й аспіраційні. До технологічних викидів відносять виділення шкідливих речовин з технологічного встаткування внаслідок його негерметичності (наприклад, при продувці апаратів) і характеризуються порівняно високою концентрацією домішок. Вентиляційні викиди являють собою викиди шкідливих речовин від природньої або механічної (примусової) загальнообмінної вентиляції. У цьому випадку концентрація домішок у повітрі, як правило, нижче ГДК. Аспіраційні викиди – це викиди в атмосферу від усіх видів витяжної місцевої вентиляції, по складу вони близькі до технологічних. Викиди, що містяться в атмосферному повітрі шахтних регіонів можуть бути усіх вище перерахованих видів.

Викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин характеризуються за чотирма ознаками: за агрегатним станом, хімічним складом, розміром частинок і масовою витратою викинутої речовини. Забруднюючі речовини викидаються в атмосферне повітря у вигляді суміші пилу, диму, туману, пари і газоподібних речовин [5]. Все це повною мірою стосується регіону, що розглядається.

Соціально-промисловий комплекс, що склався на території регіону, характеризується великими обсягами викидів різноманітних шкідливих речовин в атмосферне повітря. Хоча останнім часом внаслідок деякого скорочення виробництва спостерігається тенденція зниження валових викидів, однак рівень забруднення атмосферного повітря залишається високим. Згідно статистичним даним існуюча кількість викидів шкідливих речовин припадає на 170 підприємств регіону, однак основна частка викидів (92-94 %) припадає на ОП «Шахта імені Засядька», 14 шахт Донецької вугільної енергетичної компанії, ЗАТ «Донецьксталь-МЗ» і ВАТ «Донецьккокс». Аналіз даних показує, що за останні 10 років загальні валові викиди шкідливих речовин поменшилися на 15 %. При цьому викиди від промислових підприємств знизилися на 32 %, а викиди транспорту зросли на 76 % [6]. У випадку збереження існуючих тенденцій, кількість викидів шкідливих речовин від пересувних джерел до 2021 року перевищить кількість викидів від стаціонарних джерел. У цьому випадку валова кількість викидів по регіону зросте на 30-40 % і може скласти від 280 до 300 тис. тонн на рік .

Аналіз складу викидів в атмосферне повітря свідчить, що в 2010 році в порівнянні з 2000 роком знизилися викиди оксиду вуглецю (на 12 %), діоксиду сірки (на 44 %), пилу (на 37 %), однак зросли викиди сполук азоту (на 48 %). В регіоні також спостерігається тенденція різкого зменшення викидів метану, що вказує на зниження інтенсивності роботи шахт [7-8]. Однак, зросли викиди шкідливих речовин на джерелах, пов'язаних з металургійним виробництвом і спалюванням палива.

Моніторинг забруднення атмосферного повітря в регіоні ведеться по наступних шкідливих речовинах: пилю, двооксид і оксид азоту, двооксид сірки, оксид вуглецю, формальдегід, фенол, аміак, важкі метали, бензапірен [6, 7]. У цілому за останні роки середньорічні концентрації шкідливих речовин перевищували середньодобову гранично припустиму концентрацію (ГДК СД) попилу, двооксиду азоту, формальдегіду, бензапірену, за останній час до цього списку додався аміак та фенол. За рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні найбільш несприятливими роками були 2008, 2009, 2011, а найбільш сприятливим 2015 рік. [9].

Ситуація в Донбасі продовжує залишатися важкою, й тільки кардинальні зміни в системі ресурсоспоживання, активне впровадження альтернативних джерел енергії та природоохоронних заходів поряд з раціональним природокористування можуть привести до зміни екологічної ситуації, отже і до зниження концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі.

Основне забруднення атмосферного повітря вуглеводобувними підприємствами відбувається при видобутку вугілля. Вивільнюваний із шарів газ – метан разом з вугільним пилом та іншими домішками викидається через дифузори вентиляційних стовбурів шахт в атмосферне повітря. По даним ВГРЧ (воєнізованих гірничорятувальних частин) об'ємні витрати пилогазоповітряної суміші тільки з однієї шахти «Полтавська» (Донецька обл., м. Бунге, ГП «Орджонікідзевугілля») становить 14000 м<sup>3</sup>/хв., а концентрація пилю в газоповітряній суміші на одну тону видобутого вугілля становить 5,5 мг/м<sup>3</sup>, метану – 0,1 % [8-9].

Екологічні проблеми ще однієї області України, що частково входить в склад Донбасу – Дніпропетровської – в останні роки настільки загострилися, що їх з повним правом можна віднести до загальнонаціональних екологічних проблем, і не дивно, що це стало одним з важелів, який стримує розвиток конкурентоспроможності регіону. Згідно з оцінкою Інституту проблем природокористування та екології НАН України, по ступеню забруднення майже

вся територія області належить до категорії «дуже забруднених», а більш третини – до «надзвичайно забруднених» [9].

Наслідком такої екологічної ситуації є складна демографічна обстановка, обумовлена зниженням народжуваності, ростом загальної смертності й погіршенням загального епідеміологічного стану. Особливістю регіону є те, що екологічні кризові ситуації не локалізовані по території, а охоплюють цілі промислові агломерації, басейни видобутку корисних копалин і території, що прилягають до суміжних областей.

Місто Дніпро – найбільший в Україні центр чорної металургії та пов'язаних з нею галузей промисловості. Над містом постійно нависає зміг, що формується викидами двох потужних металургійних, двох трубопрокатних, коксохімічного, шинного та лакофарбового заводів, а також машинобудівних підприємств, включаючи найбільший в Україні завод «Південмаш».

Місто Кам'янське, виходячи з багатопрофільного характеру виробництв, може бути віднесене до найбільших індустріальних центрів України, на його відносно невеликій території розташовані металургійний комбінат, чавуноливарний, два коксохімічних, вагоноремонтний, котельно-механічний та цементний заводи, ПАТ «Азот». Через забруднення атмосферного повітря викидами численних промислових підприємств Кам'янське відноситься до одного з найбільш неблагополучних в екологічному плані міст України. На його долю припадає близько 7 % від загального обсягу викидів забруднюючих речовин в атмосферу по Україні в цілому. Це другий після Кривого Рогу показник серед міст України.

Щодо інших міст області, то в них також спостерігається не менш напружене екологічне становище. Так, в м. Павлоград розташовані 11 шахт та центральна вуглезбагачувальна фабрика, підприємства машинобудування та будматеріалів; в містах Марганець та Орджонікідзе розташовані найбільші в Україні гірничозбагачувальні комбінати та комбінати по збагаченню марганцевої руди; м. Жовті Води – центр видобутку та первинного збагачення уранових руд.

Крім перерахованого вище, серйозні екологічні проблеми в регіоні виникають у зв'язку з утилізацією та складуванням відходів металургійного, шинного, коксохімічного та хімічного виробництв. За рівнем техногенного навантаження на природне середовище Дніпропетровська область посідає друге місце в Україні після Донецької. Обсяги валових викидів забруднюючих речовин в атмосферу становлять понад 18 % від загальнодержавних, обсяги скидання стічних вод – близько 15 %. Промислові підприємства гірничо-металургійного, паливно-енергетичного, хімічного комплексів та транспорт є основними джерелами забруднення повітряного басейну. Обсяг валових викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних і пересувних джерел забруднення за рік складає близько 1 млн.т.

Результати спостережень Дніпропетровського обласного центру гідрометеорології за рівнем забруднення атмосферного повітря довели [10], що в містах Дніпро, Кривий Ріг і Кам'янське спостерігаються перевищення середньорічних концентрацій по наступних забруднюючих речовинах (рис 1.2):

- по пилу – 1,3-2,7 ГДК;
- по двооксиду азоту – 1,3-2,3 ГДК;
- по фенолу – 2,0 ГДК;
- по бенз(а)пірену – 1,6 ГДК;
- по формальдегіду – 2,7-6,7 ГДК.

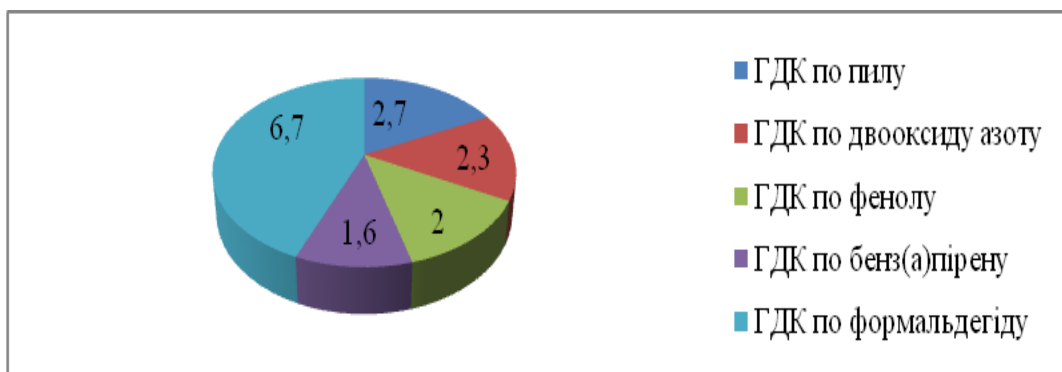


Рисунок 1.2 – Середньорічні концентрації забруднюючих речовин в Дніпропетровській області.

Аналіз несприятливої екологічної ситуації в регіоні доводить, що найбільший внесок в забруднення природи дають все ж таки підприємства



гірничодобувного сектору. На частку підприємств по видобутку й переробці мінеральної сировини приходиться близько 40 % усіх викидів забруднюючих речовин в атмосферу, близько 75 % обсягів скидань забруднених вод у водні об'єкти і майже 85 % площі порушених земель [11, 12].

Розглянемо докладніше особливості забруднювачів атмосферного повітря Донбасу.

Джерелами забруднення атмосферного повітря на гірничих підприємствах є:

- терикони, відвали, відкриті розрізи, хвостосховища;
- підривні роботи;
- навантажувальні, транспортні й відвальні роботи;
- дроблення й змішування корисних компонентів при їх переробці;
- сушіння промислових продуктів на збагачувальних фабриках;
- аспіраційні системи дробильно-сортувальних, переробних і збагачувальних виробництв;
- тліючі вугільні відвали;
- спалювання палива в промислових котельнях, тощо.

Основними речовинами, що забруднюють атмосферу в зоні дії гірничих та гірничо-металургійних підприємств є пил, зола, сажа, метан, сірчистий ангідрид, оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводи, оксиди важких і легких металів, цементний і вапняний пил тощо. При дослідженні складу забруднювачів атмосферного повітря необхідно мати уяву які саме речовини і в якій кількості попадають в навколишнє природне середовище, щоб можна було максимально ефективно розробити необхідні заходи щодо природозбереження. Для цього треба розпізнати якісні і кількісні ознаки забруднювачів повітря.

До якісних ознак відносять:

- агрегатний стан речовини, що викидається (твердий, рідкий, газоподібний, змішаний);
- токсичність речовини, що викидається;

- здатність речовин, що викидаються, до підвищення токсичності при вступі їх у хімічні реакції в атмосферному повітрі.

Основними кількісними ознаками є:

- кількість речовини, що викидається в атмосферу;
- концентрація шкідливих домішок;
- швидкість руху речовин, що викидаються, у місці викиду;
- температура речовин, що викидаються;
- розміри часток, що викидаються;
- тиск газових потоків у трубах і на виході;
- вологість газових потоків.

Уява про якісні і кількісні показники дає можливість робити розрахунки розповсюдження шкідливих речовин в атмосфері, визначати концентрації речовин у приземному шарі, оптимальну висоту для їх викиду, давати прогноз стану атмосферного повітря залежно від її наявних параметрів [13-14] тощо.

По оцінкам фахівців, одним з перспективних місцевих джерел енергії є вугільний метан, який вважається високоякісним і екологічно чистим енергоносієм [15]. Зазвичай вугільний метан асоціюють з небезпечним супутником видобутку вугілля. Дійсно, головною небезпекою для гірників був і залишається метан вугільних шарів. Вибухи й викиди метану загрожують найнебезпечнішими та великомасштабними аваріями на вугільних підприємствах в усьому світі. Однак, при правильній утилізації вугільний метан стає перспективним і коштовним видом палива. Необхідно відзначити, що на відміну від України, вугільний метан вже широко використовується в усьому світі, перетворюючись із проблеми, пов'язаної з небезпекою, у цінне джерело енергії [14]. Однак, в подальших дослідженнях зупинялися лише на методах локалізації шахтних викидів.

Динаміка шахтних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по Дніпропетровській області та основним містам наведена на рисунку 1.3. та у Додатку Б.

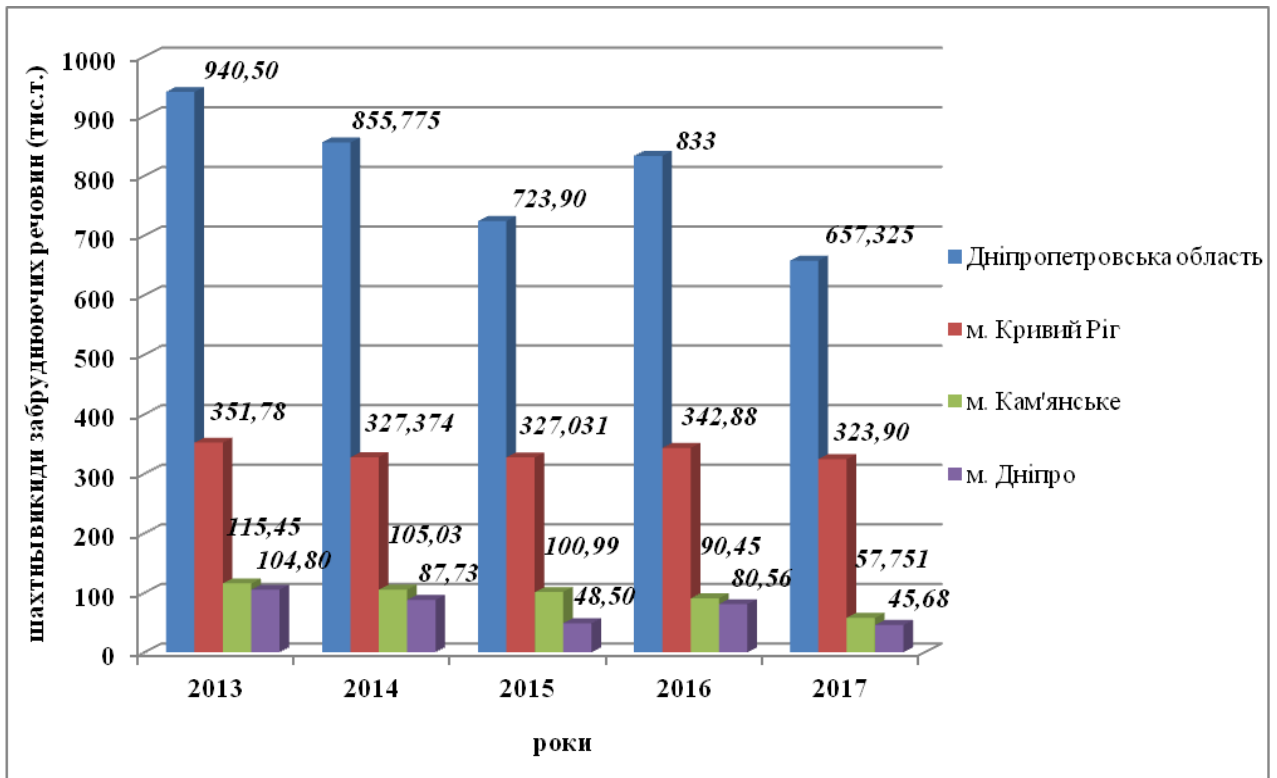


Рисунок 1.3 – Динаміка шахтних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по Дніпропетровській області та основним містам (тис.т).

Викиди шкідливих речовин в атмосферу у містах Дніпропетровської області у 2017 році становили 657,3 тис. т., що на 175,7 тис. т. (21 %) менше, ніж у 2016 році (Додаток В).

У складі викинутих забруднюючих речовин оксиди вуглецю становлять 324,0 тис. т.; діоксиди та інші сполуки сірки – 66,8 тис. т.; речовини у вигляді суспендованих твердих частинок – 86,5 тис. т; метан – 138,5 тис. т.; сполуки азоту – 38,6 тис. т; метали та їх сполуки – 0,6 тис. т тощо (Додатоки Г, Д, Е).

У 2017 році підприємства добувної промисловості і розроблення кар'єрів викинули в атмосферу 200,2 тис. т (31.0 %) шкідливих речовин від загального обсягу- викидів по області. Частина викидів від підприємств постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря у загальному обсязі викидів становить 12,0 %, від переробної промисловості – 55,5 %, від транспорту, складського господарства, поштової та кур'єрської діяльності –

0,4 %, підприємств, які спеціалізуються на водопостачанні, каналізації, поводженні з відходами – 1,1 %.

Основними забруднювачами навколишнього природного середовища у 2017 році залишаються підприємства металургійної, добувної промисловості та виробники електроенергії. Найбільш екологічно небезпечними видами економічної діяльності є видобування металевих руд, виробництво електроенергії, чавуну- сталі та феросплавів (Додаток Ж).

Результати спостережень свідчать про те, що в 2017 році рівень забруднення атмосферного повітря промислових міст Дніпропетровської області залишався досить високим.

Екологічна ситуація загострюється тим, що викиди в атмосферу здійснюються нерівномірно, а переважно в промислових зонах, де велика концентрація підприємств гірничодобувної, металургійної, машинобудівної хімічної та іншої промисловості [1]. Видобуток вугілля по роках та рівень забруднення атмосферного повітря у відсотковому співвідношенні в Україні наведено на рисунку 1.4

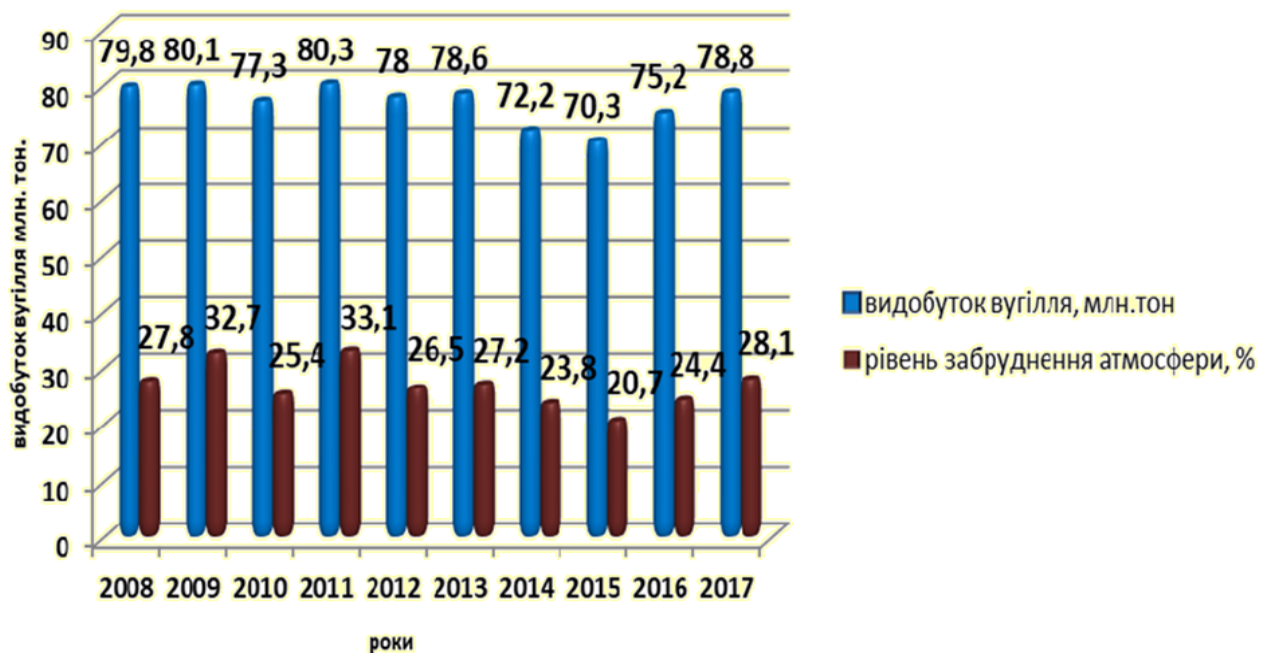


Рисунок 1.4 – Видобуток вугілля по роках та рівень забруднення атмосферного повітря у відсотковому співвідношенні в Україні.

## **1.2 Аналіз даних науково-технічної літератури щодо основних забруднювачів повітря навколо гірничо-видобувних підприємств**

Вугільна промисловість входить у першу десятку галузей господарства країни за рівнем утворення й викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Працюючи безперервно, гірничо-видобувні підприємства викидають із вентиляційних стовбурів значні обсяги забрудненого повітря, що містять велику кількість вуглепородного пилу, метану, інших домішок, чим створюють забруднення атмосферного повітря, тобто змінюють її склад в результаті попадання до неї речовин, які не містяться в її постійному природному складі. Такі домішки несприятливо впливають на навколишнє середовище, їх прийнято називати забруднюючими повітря речовинами. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря на вугільних підприємствах є технологічні процеси гірничого виробництва (бурові та вибухові роботи, екскавація, навантаження гірничої маси, внутрішні й зовнішні відвалоутворення), енергетичні та сушильні установки, аспіраційні системи, відкриті вугільні склади, породні відвали, що горять. Зазначеними джерелами в атмосферу викидаються вугільний та породний пил, сажа, окисли сірки, азоту й вуглецю, сірководень, інші шкідливі речовини. Шахтні викиди розсіюються в приземному шарі атмосфери. Осідаючи, вони здатні покривати значні території, забруднюючи повітря, ґрунт та водойми. Істотний внесок у забруднення атмосферного повітря вносять виділення шахтного метану [15].

Кількість пилу, що викидається з вентиляційних стовбурів вугільних шахт в атмосферу, зазвичай розраховується за стандартизованою методикою. Ця методика введена для складання державної статистичної звітності в галузі охорони атмосферного повітря, визначення розміру плати для відшкодування збитків, що наносяться системами провітрювання підземних гірничих виробок вугільних шахт, оцінки рівня забруднення атмосферного повітря, розробки природоохоронних заходів. При цьому вона дозволяє проаналізувати валові викиди пилу в атмосферу, зокрема з вентиляторів головного провітрювання

(ВГП), залежно від концентрації твердих часток на вентиляційних горизонтах поблизу стовбура, а також обсягів запиленого повітря, що викидається, та інших факторів [15-16].

Поряд із викидами від промислових підприємств і автотранспорту для вуглевидобувних регіонів України (в першу чергу для Донбасу) суттєву частку додають викиди шахтного метану з вентиляційних і дегазаційних систем вугільних шахт. На відміну від викидів промислових підприємств, викиди шахтного метану невидимі й не мають запаху, але утворюють з повітрям вибухонебезпечну суміш.

Наприклад, на шахті «Суходольская-Східна», що входить до складу ДХК «Краснодонвугілля» (Луганська обл.) викиди метану в атмосферу за 2013 рік перевищили 26 млн. м<sup>3</sup> (це одна з найнебезпечніших шахт в Донецькому вугільному басейні у зв'язку з підвищеною небезпекою раптових викидів вугілля та газу). Подібних шахт у Донбасі близько сотні.

При розробці газоносних вугільних шарів, наприклад, в Росії, вентиляційними й дегазаційними системами вилучаються від 1,2 до 1,4 млрд.м<sup>3</sup> шахтного метану, однак лише близько 25 % вилучаються системами дегазації, з яких приблизно 45-50 млн.м<sup>3</sup> газу утилізується, решта викидається в атмосферу, забруднюючи її стійким парниковим газом [17-18]. Приблизно такий самий стан по шахтному метану й в Україні.

Київський протокол, прийнятий як додаток до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, зобов'язує скоротити або стабілізувати викиди парникових газів. Згідно з ним парниковий газ – це газ, що затримує інфрачервоне випромінювання земної поверхні, що приводить до глобального потепління на планеті. До основних парникових газів відносять двоокис вуглецю (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>), окис азоту (N<sub>2</sub>O) та інші. Метан – другий по значимості парниковий газ, регламентований Київським протоколом. Шахтний метан є найсильнішим забруднювачем навколишнього природного середовища, одним з руйнівників озонового шару атмосфери планети [18-19].

Отже, одним з головних напрямків зниження негативного впливу

вугільної промисловості на навколишнє природне середовище є утилізація шахтного пілу, що може дати як економічний, так і екологічний ефект в масштабах всієї країни.

В Україні затверджені наступні юридичні документи, що регулюють необхідні заходи з дегазації вугільних шарів:

- «Комплексна програма по дегазації вугільних шарів», що підготовлена згідно Указу Президента України № 26/2002 від 16 січня 2002 р. «Про невідкладні заходи щодо поліпшення умов праці та вдосконалення державного нагляду за її охороною на підприємствах вугільної промисловості» [20];

- Постанова Кабінету Міністрів України № 206 від 22 лютого 2006 р. «Про затвердження Порядку розгляду, схвалення та реалізації проєктів, спрямованих на зменшення обсягу антропогенних викидів або збільшення абсорбції парникових газів згідно з Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату» [21] та інші.

Шахтний пил є сукупністю тонкодисперсних твердих часток органічного або мінерального походження який утворюється в гірничих виробках при відділенні вугілля та породи від масиву, а також транспортуванні гірничої маси. Наявність пилу в шахтному повітрі небажана з ряду причин, а саме :

- Пил шкідливий для здоров'я людини.
- Пил деяких корисних копалин (наприклад, кам'яного вугілля), знаходячись у зваженому стані, може створювати з повітрям вибухову суміш.
- Запилення повітря суттєво зменшує видимість, що підвищує загальну небезпеку робіт.

В свою чергу за дією на організм людини виробничий пил поділяють на отруйний (свинцевий, ртутний) і неотруйний (вугільний, породний).

Вражаюча дія пилу визначається дисперсністю (розміром часток пилу), формою та твердістю, волокнистістю, питомою поверхнею.

Вибуховість вугільного пилу залежить від вмісту в ньому летких речовин, зольності, вологості, тонкості і концентрації пилу. Вибуховим вважається вугільний пил, який вміщує понад 10% летких речовин, має зольність і

вологість менше 40 %, розміром часток менше 0,1 мм і концентрація його 10 — 3000 г/м<sup>3</sup>. Для визначення вибуховості пилу, вугілля кожного пласта, який розробляється, піддають спеціальним дослідженням за допомогою приладів ПКО-1 або ПКО-1М . [22] (рис. 1.5)

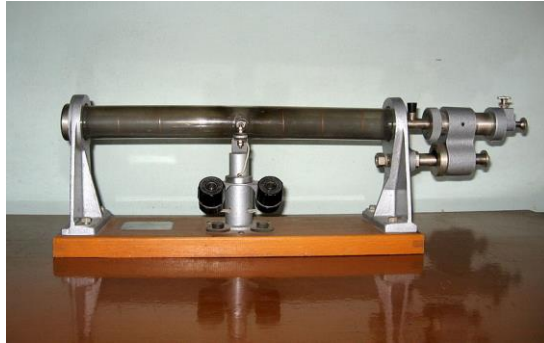


Рисунок 1.5 – ПКО-1М прилад для контролю осланцювання

Небезпека виникнення вибуху утворюється при наявності в повітрі вибухонебезпечної концентрації пилу, а також пилу, осівшого в виробці; скупченні метану, який знижує межу вибухової концентрації пилу; наявності потенційного джерела запалювання пилогазової суміші.

Для боротьби з вугільним пилом на шахтах здійснюються заходи комплексного знепилювання згідно з паспортами протипилових заходів, які затверджуються головним інженером гірничо-видобувного підприємства. До таких заходів відносяться:

- використання машин, які забезпечують мінімальне пилоутворення під час видобутку вугілля;
- попереднє зволоження вугільного пласта;
- зрошення місць пилоутворення і пилу, який осів;
- ефективно провітрювання виробок;
- періодична очистка від пилу відкаточних і вентиляційних виробок;
- розташування скіпових підйомів в стволах з вихідним повітряним струменем.

Очищення пилогазових (зокрема пилових) викидів шахт є основним заходом щодо захисту і відновлення повітряного басейну країни. Всі роботи підпорядковані Наказу Державного комітету України з промислової безпеки,



охорони праці та гірничого нагляду від 22 березня 2010 року № 62 «Про затвердження Правил безпеки у вугільних шахтах», що зареєстрований в Міністерстві юстиції України 17 червня 2010 р. за № 398/17693 [23].

Крім боротьби з викидами існує ще одна гостра проблема – підтримка належного атмосферного повітря в середині гірничо-видобувного підприємства. Для цього використовують вентиляцією шахт – це є система заходів, яка спрямована на підтримку в усіх діючих гірничих виробках шахти атмосферного повітря з параметрами, необхідними для проведення гірничих робіт [24].

Як свідчать історики, вентиляція шахт була відома ще в I ст. до н.е. (наприклад, рудники в Ріо-Тінто, Південна Іспанія). Пізніше відомості про вентиляцію шахт викладені в «Природній історії» Плінія Старшого (I ст. н.е.). Перший систематизований виклад способів вентиляції шахт в XVI ст. зробив Георгій Агрикола – німецький вчений, що вважається одним із батьків мінералогії. Спочатку вентиляція шахт здійснювалася за рахунок природньої тяги, згодом – за рахунок підігріву вихідного струменя. Розвиток гірських робіт і особливо виявлення в шахтах метану (перші відомості відносяться до XVI сторіччя) зажадали інтенсифікації робіт по вентиляції шахт, але це стало можливим з винаходом в 1832 році у Росії шахтного вентилятора [25]. Ця подія вважається початком подальшої розробки методик локалізації шахтних викидів.

### **1.3 Теоретичні основи шкідливих і небезпечних факторів при роботі в гірничо-видобувних підприємствах**

Практично всі технологічні процеси вугільної промисловості пов'язані з подрібненням твердого сировинного матеріалу або обробкою твердих матеріалів, що завжди супроводжуються утворенням пилу. Крім пилової складової забруднення відбувається супутніми газами, що зазвичай існують в шахтному середовищі. Боротьба з вугільним пилом і газовими забруднювачами є першочерговими завданнями при веденні всіх видів гірничих робіт. Особливе

значення приділяється удосконаленню методів контролю запиленості шахтного повітря. Гірничо-видобувні підприємства поділяються на три групи по пиловому фактору небезпеки: мало небезпечні, середньої небезпеки та небезпечні.

Прогноз умов праці на вугільних шахтах Донбасу передбачає закономірне погіршення ситуації у зв'язку зі збільшенням глибини розробки вугільних пластів до 1,5 км і більше, де відчувається збільшення навантажень на устаткування очисних і прохідницьких забоїв, що, в свою чергу, призводить до більшої загазованості і запиленості шахтного атмосферного повітря [25-26].

В основі одного з найбільш ефективних способів зменшення шкідливого впливу виробничого середовища на здоров'я працюючих лежить комплексне знепилювання шахт. Заходи по боротьбі з пилом розробляються і проводяться відповідно до вимог глав 3 та 8 «Правил безпеки у вугільних шахтах» та відповідних санітарних норм і правил [27]. Якщо в повітрі робочої зони вміст пилу перевищує гранично допустиму, обумовлену п.8.2.3 ПБ концентрацію, то застосовується додатковий комплекс заходів щодо знепилювання повітря і удосконаленню засобів індивідуального захисту органів дихання працюючих від пилу. Крім того, ведеться облік пилових навантажень на організм працюючих відповідно до «Інструкції з виміру концентрації пилу в шахтах та обліку пилових навантажень» [28] з метою визначення безпечного часу роботи в контакті з пилом.

Запропонований комплекс заходів щодо очищення повітря [29] передбачає:

- створення автоматичної системи спостереження за якістю повітря всередині гірничо-видобувного підприємства;
- створення автоматичної системи спостереження за якістю повітря зовнішніх викидів;
- створення автоматичної системи очищення повітря в шахті й викидів на поверхню;

- створення автоматичної системи «резервного» очищення, що приводиться в дію системами стеження в разі погіршення якості повітряного середовища нижче нормативного.

Впровадження системи контролю очищення повітря, що ґрунтується на реалізації запропонованого комплексу заходів, дозволить зменшити кількість профзахворювань шахтарів та знизить екологічну небезпеку шахт для навколишнього повітряного середовища.

Розглянемо більш детально як саме змінюється атмосферне повітря в «шахтарських регіонах» під впливом техногенних факторів. Знання проблем, породжуваних зміною атмосфери внаслідок насичення її вугільним пилом, дозволить підвищити екологічну безпеку населення. Розробивши і впровадивши способи моніторингу [30], можна з більшою ефективністю досягти обмеження поширення вугільного пилу.

Крім того, проходячи по гірничих виробках, атмосферне повітря змінює свій склад: зменшується вміст кисню ( $O_2$ ), збільшується вміст азоту ( $N_2$ ) та вуглекислого газу ( $CO_2$ ), виділяються інші шкідливі та отруйні гази (чадний газ, окисли азоту, сірководень тощо) [31]. Хоча пилоутворення – одно з найбільших «вад» шахтного середовища. Відповідно до правил безпеки (ПБ) у вугільних шахтах [27] повинні бути дотримані норми чистоти повітря. Інженерно-технічні заходи щодо дотримання цих норм діляться на три групи:

- 1) зниження або усунення пилоутворення;
- 2) придушення та уловлювання пилу;
- 3) винос летючого пилу із виробок і знепилювання повітряного потоку.

Існують специфічні для гірничої промисловості методи боротьби з пилом. Ось деякі з них:

- забороняється подача свіжого струменя повітря по стовбурах, обладнаними скіпами, перекидними клітьми;

- не допускається подача свіжого повітря по похилих стовбурах і виробкам, обладнаним стрічковими конвеєрами за межами ділянки, де йде виробка;

- за інших рівних умов слід віддавати перевагу технологіям, що зменшують пилоутворення;
- застосовується попереднє зволоження вугілля в масиві;
- застосовується зрошення очисних та прохідницьких комбайнів, місць перевантаження, навантаження, розвантаження;
- застосовується пневмогідрозрошення, тобто розпилюється водоповітряна суміш (туманоутворювач);
- застосовується придушення пили піною;
- застосовуються повітряні ежектори – водяний факел, що вириваючись із форсунки створює тягу повітря (ежекцію), утворюючи тонкодисперсну суміш;
- застосовується пиловловлення на очисних і прохідницьких комбайнах та при бурінні свердловин;
- застосовується знепилююче провітрювання для виносу пилу від місця утворення, але таким чином, щоб осілий пил повторно не мав змоги зметнутися.

Пилоповітряні та газоповітряні суміші, що утворюються в шахтах внаслідок різних причин, є вибухонебезпечними речовинами. Причиною вибуху зазвичай є запалення. [31].

Розрізняють такі види запалення, що характеризуються швидкістю розповсюдження (наведена в дужках):

- 1) повільне горіння (0,3-0,6 м/с);
- 2) спалах (до 10 м/с);
- 3) підривне горіння (до сотень метрів в секунду);
- 4) детонація (кілометри в секунду).

Спалах переходить у вибух поступово, причому швидкість фронту полум'я й тиск ударної хвилі наростають постійно. Вибухи газу в шахті зазвичай супроводжуються прямим і зворотним ударами.

Вибух газоповітряних сумішей відбувається за рахунок підвищення температури (за різних причин), тобто при тепловому і ударно-хвильовому

впливі. Метаноповітряна суміш при  $t \sim 600 \text{ }^\circ\text{C}$  запалиться через 10 секунд; при  $t \sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$  – через доли секунди; при  $t \sim 1300 \text{ }^\circ\text{C}$  – відбувається практично миттєвий вибух [32].

Межі вибуху суміші горючих газів характеризуються так званим «трикутником вибуху», тобто накопиченням в різних комбінаціях трьох головних компонентів – метану, водню, чадного газу в суміші з киснем повітря.

- $\text{H} = 4\text{-}74\%$  – водень ( $400 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- $\text{CO} = 12,5\text{-}75\%$  – чадний газ;
- $\text{CH}_4 = 5\text{-}15\%$  – метан ( $600\text{-}650 \text{ }^\circ\text{C}$ );  $\text{CH}_4 = 6\%$  – найбільш

вибухонебезпечна концентрація;  $\text{CH}_4 = 9,5\%$  – максимальний вибух.

Ступінь вибуху пилоповітряної суміші залежить від розмірів порошин (дисперсності); хімічного та мінерального складу пилу (пил, при вмісті в ньому від 60-70 % негорючих компонентів не вибухає); виходу летючих компонентів при нагріванні; кількості літаючого пилу (концентрація в межах  $10\text{-}600 \text{ г/м}^3$ ); наявності в атмосфері горючих газів (наприклад, при концентрації  $\text{CH}_4 = 0 \%$ , нижня межа вибуху пилу складає  $40 \text{ г/м}^3$ ; при концентрації  $\text{CH}_4 = 0,5\%$  –  $30 \text{ г/м}^3$ ; при концентрації  $\text{CH}_4 = 2 \%$  –  $10 \text{ г/м}^3$ ); вологості пилу (при вологості 20-25 % пил, як правило, не вибухає) [31-33].

#### **1.4 Огляд можливих небезпечних ситуацій на шахтах та заходи протидії**

Гірничо-видобувні підприємства – промислові підприємства із видобутку корисних копалин (в нашому дослідженні – вугілля) підземним способом і відвантаження їх на гірничо-збагачувальну фабрику або безпосередньо споживачам. Гірничо-видобувні підприємства – розгалужені підприємства, що включають не тільки підземні виробки, а й надшахтні споруди (копри, будівлі, склади, устаткування для транспортування, водовідливу та вентиляції тощо) та обладнані складним спеціальним устаткуванням – машинами та механізмами, що призначені для розробки надр в межах шахтного поля (рис. 1.6). Усі

гірничо-видобувні підприємства розподіляють за ступенем небезпеки: за метаном, воднем, сірководнем, пилом, раптовими викидами тощо [34]. Найбільшу небезпеку в шахтах представляють скупчення пилу та метану.

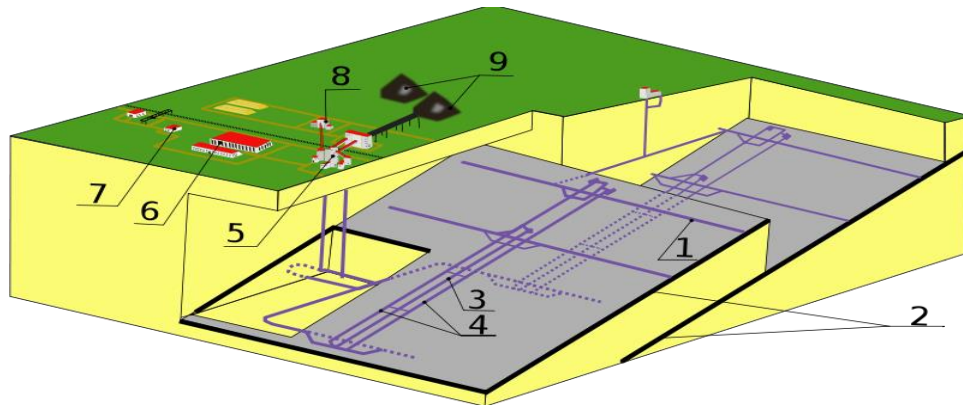


Рисунок 1.6 – Схема вугільної гірничо-видобувного підприємства у розрізі:  
1 – штреки; 2 – вугільний пласт; 3 – бремсберг; 4 – ходки; 5 – надшахтні будівлі стовбкрів; 6 – адміністративно-побутовий комбінат; 7 – склад; 8 – спорудження допомогательного ствола; 9 – террикон.

Основним заходом проти скупчення пилу є вентиляція, тобто система заходів, направлена на підтримку в усіх діючих гірничих виробках шахти атмосфери з параметрами, необхідними для ведення гірничих робіт, і яка вважається ефективною, якщо у всіх діючих виробках спостерігається припустима концентрація пилу. Ефективна вентиляція виключає шкідливий вплив на людину отруйних речовин, що містяться в шахтній атмосфері, високих та низьких температур, а також запобігає утворенню небезпечних скупчень шкідливих газів та пилу. [22, 24-25].

Розглянемо методи провітрювання шахт, які, дорече, для кожного підприємства визначаються вентиляційним планом.

Залежно від взаємного розташування стовбурів розрізняють секційну і єдину схеми провітрювання. При єдиній схемі – повітряподаючий стовбур зв'язаний з усіма вентиляційними стовбурами, що розкривають поле. Секційну схему застосовують на великих шахтах з виділенням метану більш  $10 \text{ м}^3$  на 1 тону видобутого вугілля, добовою продуктивністю більш 6000 тон і

простяганням шахтного поля більш 6 км [22, 24-25]. У межах єдиної та секційної схем розрізняють центральну, флангову й комбіновану схеми провітрювання (рис. 1.7).

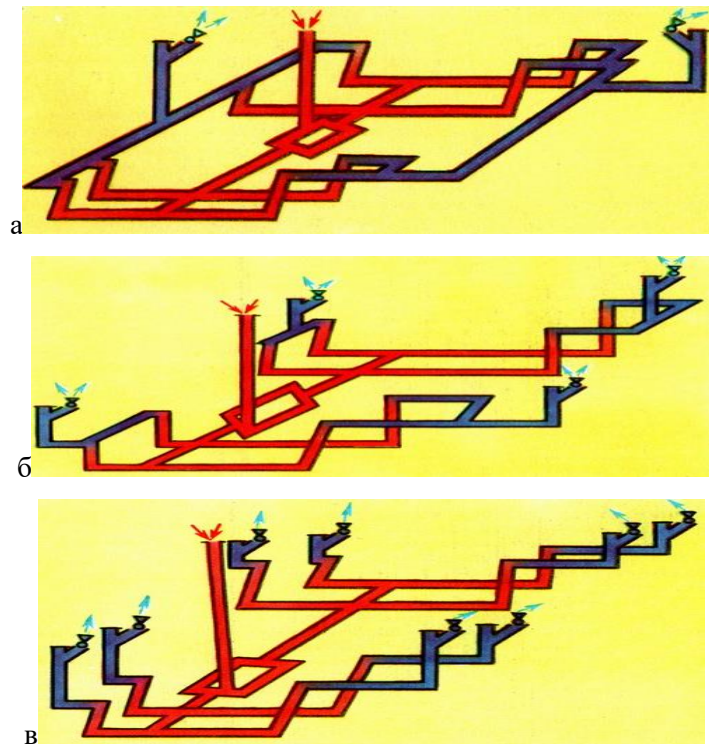


Рисунок 1.7 – Схеми вентиляції гірничо-видобувного підприємства:

а – центральна, б – флангова, в – комбінована

Центральна схема провітрювання гірничо-видобувного підприємства характеризується розташуванням повітряподаючого та повітрявідвідного стовбурів у центрі шахтного поля. Схему доцільно застосовувати при розробці невеликих шахтних полів (не більш 4 км по простяганню) і не вище третьої категорії по газу та пилу (рівень відносного метановиділення на 1 т добового видобутку вугілля максимум 10-15 м<sup>3</sup>). До недоліків цієї схеми відносять: подвійний шлях руху повітря, що приводить до необхідності підвищення депресії (різниці тисків), змінна величина депресії, більші витоки повітря через вироблений простір. Перевагами схеми вважають мінімальні капітальні витрати, що передбачає швидке введення в експлуатацію та розташування всього устаткування в одному місці [22].

Комбінована схема провітрювання включає різні комбінації центральної і флангової схем [22].

В усіх шахтах відповідно до правил безпеки [27] застосовується штучне провітрювання з урахуванням величини й напрямку природної тяги (депресії).

Способи провітрювання шахт підрозділяють на всмоктувальний, нагнітальний та комбінований.

Всмоктувальний спосіб провітрювання шахти застосовується на шахтах з підвищеним газовиділенням, при чому депресія визначається, як різниця між атмосферним тиском і розрядженим повітрям в усті ствола. При такому способі вентилятор видаляє повітря з шахти, створюючи в ній понижений тиск, в результаті чого чисте повітря через вентиляційні виробки всмоктується в шахту [22].

Нагнітальне провітрювання застосовують при розробці родовищ, схильних до самозаймання та на шахтах небезпечних по вуглекислоті. При такому способі вентиляції вентилятор нагнітає повітря з поверхні в шахту.

Комбінований спосіб вентиляції застосовується на ділянках, розташованих близько до центральних стволів, що провітрюються за центральною схемою, а для ділянок, близьких до границь шахтного поля, – по фланговій. Комбінований спосіб рекомендується застосовувати на великих підприємствах, що розробляють шари на декількох горизонтах одночасно. Для роздільного провітрювання використовуються підготовчі виробки першого горизонту та очисні другого, при цьому один вентилятор працює на нагнітання, інший – на всмоктування [22].

Інші способи протидії – це скорочення метановиділення в гірничій виробці, що досягається шляхом застосування дегазації всіх розроблювальних пластів, ізоляції зупинених виробок і відпрацьованих ділянок; застосування дієвих способів боротьби із зовнішніми і внутрішніми витоками повітря, систематичний контроль за станом шахтної атмосфери для недопущення перевищення ГДК по всім показникам, що контролюються; застосування відводу метану з порожнин, суфлярів і виробленого простору, тощо [22].



Запобігання можливості запалення та вибухів метану досягається дотриманням наступних правил: категоричне виключення відкритого вогню в гірничих виробках; суворе дотриманням заходів використання електрики (абсолютно все устаткування застосовується тільки в спеціальному вогнебезпечному виконанні; автоматичне або примусове відключення електрики при перевищенні гранично допустима концентрацію (ГДК) по будь-якій речовині, що може визвати вибух чи запалення); дотриманням заходів щодо техніки безпеки при підливних роботах (дотримання комплексу провітрювання, застосування запобіжних вибухових речовин та застосування електропідливання, дотримання ГДК зокрема по метану, виконання вимог пилового режиму тощо).

Наступним небезпечним явищем, що може призвести до трагедії – це недотримання пилового режиму в шахтах.

Для боротьби з вугільним пилом на всіх шахтах здійснюються заходи з комплексного знепилювання [35]. До таких заходів відносять:

- пріоритетне використання машин та устаткування, які забезпечують мінімальне пилоутворення під час видобутку вугілля;
- попереднє щільне зволоження вугільного пласта шляхом нагнітання під тиском води чи розчинів змочувальних речовин;
- зрошення місць пилоутворення й пилу, що вже осів, здійснюється шляхом подачі води в зону руйнування масиву та на навантажувально-перевантажувальні пункти;
- постійне та ефективне провітрювання виробок;
- періодична (за графіком) очистка від пилу відкаточних і вентиляційних виробок;
- розташування скіпових підйомів в стволах з вихідним повітряним струменем.

Як було вже нами відмічено вище, пилоповітряна суміш вибухонебезпечна, а безпосередніми причинами її вибуху можуть стати відкрите полум'я, спалахи або вибухи газу, небезпечне проведення вибухових

робіт, несправність електромереж чи гірничого устаткування тощо [36]. Отже, до заходів, що повинні перешкодити виникненню джерел запалювання (спалахування) пилу, відносяться:

- використання запобіжних вибухових речовин та засобів підривання;
- використання виключно вибухобезпечного електрообладнання;
- категорична заборона відкритого вогню або паління.

До заходів щодо локалізації або пригнічення вибухів пилу відносять сланцювання виробок (тобто штучне підвищення зольності пилу, що вже розташувався на поверхні виробок, за рахунок додавання до нього інертного пилу із вапняку та глинистого сланцю, що має охолоджуючу здатність за рахунок витрат теплової енергії на власне нагрівання) і застосування водяних або сланцевих заслонів [37].

Пиловибухозахист гірничих виробок також здійснюється шляхом побілки та мокрому протирання виробок, зв'язування пилу змочувально-зв'язуючими речовинами, створення у виробках водяних чи туманотворюючих завіс із тонкодиспергової вологи.

Ще одна з небезпечних ситуацій, що може виникнути на шахтах – це руйнування гірничого пласта за рахунок раптових викидів вугілля й газу. Раптові викиди – це самочинний миттєвий процес руйнування гірського масиву, що супроводжується викидом вугілля (або бокової породи) й посиленням газовиділенням тривалістю декілька секунд з утворенням тонкого вугільного пилу. Інтенсивність викидів (кількісна характеристика) становить від декількох кілограмів до десятків тисяч тон вугілля, кількість викинутого газу найчастіше складає декілька десятків кубічних метрів. Раптові викиди вугілля та газу відбуваються в основному на глибині розробки 200-300 метрів, на пластах потужністю 0,5-2,5 метри і мають порівняно високу газоносність (10-30 м<sup>3</sup>/т) [22].

## 1.5 Комплекс заходів щодо попередження раптових викидів

Комплекс заходів щодо попередження раптових викидів включає заходи щодо забезпечення безпечної та ефективної розробки вугільних пластів. Це, по-перше, випереджувальна відпрацювання захисних пластів; по-друге, профілактична дегазація вугільного масиву; по-третє, зволоження шляхом нагнітанням рідини в пласт. Крім того, застосовується випереджальне кріплення та стовпова система розробки родовища; вузькозахопна виїмка вугілля; комбайнове проведення підготовчих виробок; повне обвалення на пологих пластах і повне закладання на крутих; гідровіджим вугілля; гідровимивання випереджальних порожнин і щілин; буріння випереджальних свердловин; камуфлетне висадження; утворення розвантажувальних щілин тощо [22].

Існує декілька наукових уявлень про механізм раптових викидів. Відрізняються вони якісною і кількісною оцінкою внесків в участь в процесі газу, напружено-деформованого стану масиву, фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей породи та вугілля. Згідно з однією з теорій, раптовий викид відбувається у дві фази:

1) підготовча – під впливом гірського тиску виникають коливання напруженого стану гірських порід та вугільного шару, які, як відомо, складаються із пачок різної міцності. В наслідок чого відбувається порушення рівноваги між вільним газом і газом, що перебуває в вугільному шарі у зв'язаному стані.

2) власно викид – при польоті часток роздробленого вугілля з них також виділяється газ, це веде до подальшого дроблення, при якому утворюється найтонший пил.

Згідно з цією теорією, вугільні пласти поділяються на безпечні, загрозові та небезпечні, а бічні (бокові) породи – на безпечні та небезпечні.

Раптовий викид має ознаки, що передують йому [22], це:

- зменшення міцності вугілля;
- видавлювання вугілля з забою;
- відскакування шматків вугілля, «лущення» забою;
- поява пилової хмари;
- різке підвищення газовиділення;
- посилення тиску на кріплення;
- затиск бурових штанг;
- викид штибу й газу при буріння свердловин;
- гул у масиві.

Викидонебезпека кожного діючого гірничо-видобувного підприємства встановлюється на підставі статистичних досліджень частот і величин раптових викидів на них або на підставі прогнозу. Розрізняють регіональний, локальний та поточний прогнози [37-38].

1. Регіональний – застосовується на стадії геологорозвідувальних робіт, він необхідний для створення проектів нових шахт та спирається на дослідження властивостей кернових зразків вугілля.

2. Локальний – проводиться перед розкриттям шарів свердловинами, квершлагами та іншими виробітками, який визначає викидонебезпеку в межах шахтного поля для встановлення критичних глибин, з яких можуть відбутися викиди.

3. Поточний – проводиться для виявлення викидонебезпечних зон в очисних, підготовчих та нарізних виробках, він базується на вивченні міцності вугілля в масиві, швидкості та інтенсивності газовиділення в ньому, фізико-механічних (сейсмоакустичних) властивостей шарів.

У результаті прогнозу встановлюють небезпечні й загрозові зони, що дозволяє організувати контроль та розробити плани попередження викидонебезпеки.

До методів боротьби з викидами [39] відносять:

- випереджальне відпрацьовування захисних шарів (несхильних до викидів);
- міжшарова дегазація;
- буріння випереджальних свердловин;
- гідровимив;
- торпедування;
- вибурювання щілин.

Найбільш безпечними щодо раптових викидів є системи розробки довгими стовпами, які забезпечують завчасне виявлення порушень; дегазація крайових частин лави; розосередження робітників в очисних і підготовчих виробках. Помічено, що число викидів зменшується при відпрацьовуванні шарів від границь.

### **1.6 Аналіз непередбачених подій, що можуть самовільно виникнути на гірничо-видобувних підприємствах**

Непередбачені події, що можуть самовільно виникнути на гірничо-видобувних підприємствах, іноді призводять до особливо небезпечного явища – рудничної пожежі.

Рудничні пожежі – одна з найбільш складних і небезпечних видів аварій, що не тільки спустошують надра та завдають великі матеріально-технічні збитки, але й впливають на життя та здоров'я як працівників так и всього населення регіону. Вони можуть виникнути безпосередньо в гірничих виробках, масивах корисних копалин або у відпрацьованому просторі. До рудничних пожеж також відносяться й пожежі в надшахтних спорудах та на прилеглих складах [40].

За причинами виникнення рудничні пожежі підрозділяються на ті, що виникають:

- від самозаймання вугілля (називаються ендогенні);
- від зовнішніх джерел (несправного електроустаткування, тертя тощо) – (називаються екзогенні), які в свою чергу підрозділяються на первинні та рецидивні.

За ступенем доступності вогнища (та залежно від місця виникнення) рудничні пожежі підрозділяються на зовнішні (поверхневі) й глибинні (підземні), а також такі, що сконцентровані на локальній території або розповсюджені широко.

Підземні рудничні пожежі є однією з найнебезпечніших аварій, що можуть виникнути на гірничо-видобувних підприємствах. Їх особливістю є важка доступність до місця події для забезпечення безпосереднього активного гасіння. Під дією вогню виходять із ладу й втрачають свою несучу здатність кріплення гірничої виробки, що приводить до обвалення порід покрівлі, ще більш ускладнюючи аварію. Пожежі в шахтах, небезпечних по газу та пилу, приводять до вибуху газопилової суміші. Особливою небезпекою рудничних пожеж є поширення по гірничих виробках продуктів горіння [41]. Найнебезпечнішими вважаються екзогенні пожежі: вони швидко поширюються та за короткий строк отруюють повітря гірничих виробок.

Розвиток пожежі залежить від потужності та тривалості дії початкового теплового імпульсу, кількості та характеру розташування горючого матеріалу, швидкості повітряного потоку. По мірі збільшення площі займання відбувається підвищення температури продуктів горіння з одночасним наростанням концентрації оксиду та двооксид вуглецю, метану та водню. При досягненні температури пожежних газів 500-550 °С, пожежа, як правило, стабілізується.

Гасіння підземних пожеж здійснюється в такі способи [41]:

1. Активний – передбачає безпосередній вплив на вогнище пожежі вогнегасними засобами (водою, піною, піском), або розбирання вогнищ із zalиванням (засипанням) палаючої маси. Цей спосіб зазвичай застосовують при всіх видах пожеж на початкових їх стадіях, одночасно вживають заходи щодо

перешкоджання поширенню вогню (водяні завіси, видалення кріплення, влаштування завалів тощо). Розрізняють пінно-повітряний спосіб, коли поперек виробки натягають сітку, на неї наносять піноутворюючу рідину, яка створює в гніздах сітки тонкі плівки, що зриваються повітряним потоком з утворенням піни, та гасіння інертною парогазовою сумішшю, коли у виробку встановлюється генератор парогазової суміші («гасниця») і усе повітря замінюється сумішшю.

2. Пасивний – передбачає ізоляцією пожежної ділянки перемичками із засипанням (при необхідності) провалів, тампонуванням тріщин цілика і вміщуючих порід. До ізоляції прибігають, коли пожежа не може бути ліквідована безпосереднім гасінням через неприступність вогнищ горіння.

3. Комбінований – передбачає безпосереднє (активне) гасіння в комплексі з ізоляцією пожежних ділянок шляхом затоплення їх водою або заповненням інертними газами. Такий спосіб використовують, коли пожежа прийняла значний розмах, а безпосереднє гасіння тривалий час не дає належного ефекту, або коли неможливо ліквідувати пожежу тільки шляхом ізоляції.

При гасінні підземних пожеж важливо застосовувати спеціальні правильні вентиляційні режими аж до нульового [43].

Наука висуває кілька теорій щодо самозаймання вугілля [42]. Найбільш поширеними виступають наступні:

- піритна теорія, згідно з якою причиною самозаймання є окиснення піриту;
- теорія вугільно-кисневих комплексів, коли загоряння вугілля розглядається як фізико-хімічний процес, що виникає в процесі його промислового видобутку і має наступну послідовність, що вміщує чотири стадії:

1) розігрівання (до 40-60 °С, виявляється по вмісту СО у вихідному струмені);

2) випарювання (займає 60-80 % часу «інкубаційного періоду»);

3) інтенсивне окислення (протягом днів, тижнів, характеризується ростом температури до 70-90 °С);

4) самозаймання (протягом днів, годин, коли температура досягає 300-350 °С).

На шахтах передбачено цілий ряд заходів щодо попередження самозаймання вугілля [44]. Адже, як відомо, пожежу легше попередити, ніж потім її гасити. А профілактика – найкращий «лікар». На гірничо-видобувних підприємствах повинні застосовуватися схеми провітрювання з мінімальною депресією; похилі стволи, капітальні ухили, бремсберги повинні бути пройдені по породі або по пластах, не схильних до самозаймання; треба застосовувати поверховий спосіб підготовки тощо [43]. При виборі системи розробки самозаймистих шарів треба обов'язково враховувати таку їх небезпечну специфіку [44, 45].

Ще одне дуже небезпечне явище, що може спостерігатися на шахтах – це гірські удари, тобто стрибкоподібний перехід пружної енергії гранично-напруженого масиву навколо гірничих виробок, що супроводжується руйнуванням частини пласта вугілля (породи), прилеглої до гірничих виробок; виникає за умов, коли швидкість зміни напруженого залягання в цій частині перевищує граничну швидкість релаксації напруги в ній внаслідок пластичних деформацій [46]. Швидкопротікаюче руйнування ціликів або призабойної частини пласта супроводжується різким звуком, повітряною хвилею, викидом вугілля, руйнуванням кріпів, машин, устаткування, утворенням пилу, виділенням газу. По силі прояву гірські удари діляться на власно гірські удари, поштовхи, стріляння, мікроудари [46].

Ознаками гірського удару є: посилення тиску на кріплення; гул у масиві; струс ґрунту; підвищене виділення газу; видавлювання ціликів у виробці тощо.

На шахтах існує цілий ряд заходів щодо попередження гірських ударів [46].



Так, як на шахтах присутньо багато факторів, що ускладнюють видобуток корисних копалин необхідно обов'язково застосовувати спеціальні заходи щодо запобігання будь-яких нещасних випадків.

Таким чином, враховуючи вищевикладене у розділі, можна зробити наступні висновки:

1. За результатами досліджень систематизовано екологічно небезпечний вплив гірничої промисловості на навколишнє природне середовище за найбільш імовірними напрямками: вплив на атмосферу, вплив на гідросферу та вплив на літосферу і як наслідок погіршення стану здоров'я населення.

2. Пилогазоподібні викиди, які потрапляють до атмосфери мають найбільшу можливість розповсюдження та безпосередньо розподіляються за ознаками їх агрегатного стану, походження та місця утворення. При цьому до них належать як самовільні викиди, викиди з вентиляційних стовбурів шахт, так і ті, що утворюються при різних несприятливих надзвичайних ситуаціях.

3. Встановлено, що для прийняття управлінських рішень державного рівня необхідним є комплексне врахування екологічно небезпечного впливу промислових об'єктів різних регіонів та урахування найбільш важливих чинників ураження і можливих наслідків аварій на них на навколишнє середовище забезпечит сталий розвиток

4. Результати аналізу екологічного стану повітря забруднених зон свідчать про те, що можливість зниження шахтних викидів за допомогою покращення інфільтрації пилогазоподібних викидів в окремих регіонах значно покращить стан атмосфери на усій території України.

## 1.7 Постановка завдань дослідження

Техногенний вплив на навколишнє середовище здійснюється через промисловість. На території Донбаса одним з найбільш поширених є підприємства гірничовидобувного комплексу. Особлива увага приділяється попереджувальним заходам фільтрації забрудненого шахтного пилу при викидах його в атмосферне повітря. Однак останнім часом відзначається поступове нарощування виробничих потужностей гірничодобувної промисловості, що приводить до посилення негативного впливу техногенного навантаження на навколишнє природне середовище. Ситуація ускладнюється тим, що недосконалість системи фільтрації шахтних викидів впливає на підвищення рівня техногенного навантаження шахтних регіонів України, що свідчить про необхідність створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Вплив потенційно небезпечних об'єктів на навколишнє природне середовище та додержання нормативів шкідливих викидів у районах проведення гірничих робіт досліджували вітчизняні та закордонні науковці: Білецький В.С., Войцицький А.П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М., Півняк Г.Г., Табаченко М.М., Дичковський Р.О., Фальштинський В.С., G. Tyler Miller, Living I.R., Burenin V.V. та інші. Проблема техногенно-екологічної безпеки районів проведення гірничих робіт загострюється тим, що викиди в атмосферне повітря здійснюються переважно у промислових зонах, де має місце велика концентрація гірничо-видобувних підприємств та іншої промисловості.

Одним з головних напрямів зниження негативного впливу вугільної промисловості є заходи стабілізації та поліпшення стану навколишнього природного середовища шляхом фільтрації шахтових пилових викидів. Пилоподібні викиди, які потрапляють до атмосферного повітря, мають найбільшу можливість поширення та безпосередньо розподіляються за ознаками їх агрегатного стану, походження та місця утворення. При цьому до них належать як самовільні викиди, викиди з вентиляційних стовбурів шахт,

так і ті, що утворюються у разі виникнення різних несприятливих надзвичайних ситуацій.

Останнім часом відзначається поступове нарощування виробничих потужностей гірничо-видобувних підприємств, що призводить до посилення негативного впливу потенційно небезпечних об'єктів на навколишнє природне середовище. Ситуація ускладнюється тим, що недосконалість системи фільтрації шахтових викидів впливає на підвищення рівня техногенно екологічної безпеки в районах проведення гірничих робіт України, що свідчить про необхідність удосконалення заходів стабілізації та поліпшення стану навколишнього природного середовища, а також створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Результати аналізу екологічного стану атмосферного повітря забруднених зон в районах проведення гірничих робіт свідчать про те, що можливість зниження шахтових викидів за допомогою покращення інфільтрації пилоподібних викидів в окремих регіонах значно покращить стан атмосферного повітря на усій території України.

Таким чином, задля створення ефективних умов безпечної життєдіяльності людини доцільною є розробка способів очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації.

Досягнення поставленої мети можливе за допомогою вирішення наступних завдань:

- провести аналіз стану екологічної безпеки атмосферного повітря в районах проведення гірничих робіт;
- проаналізувати методи розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різних умов експлуатації шахт.

## РОЗДІЛ 2

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ОПИС МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є техногенне навантаження на навколишнє природне середовище від шахтових викидів повітря (на прикладі Дніпропетровської області).

Особлива увага приділяється питанню підвищення ризику глобального забруднення атмосфери, шахтні регіони вносять у цей несприятливий для всієї Землі процес свою левову частку. Ця тема досить широко обговорюється в науковій літературі і відображена в багатьох державних та нормативно-правових актах України. Найважливішою частиною вищезазначеної проблеми є вирішення завдань щодо досягнення максимально високого ступеня очищення екологічно-небезпечних вентиляційних викидів гірничо-видобувних підприємств.

Предметом дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки під час проведення вентиляції шахтного повітря та його викиду в атмосферу тому виникає необхідність у створенні більш ефективних фільтруючих систем у порівнянні з тими, які нині застосовуються в гірничій промисловості.

Вивчення режимів очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферне повітря та фільтрів, які використовуються для уловлювання часток пилу проводилося на спеціально створеному стенді. (рис. 2.1). Основний конструктивний елемент стенду є аналізуючий прилад (аналізатор пилу, вимірювач концентрації пилу, пилемер), який дозволяє відібрати і відразу проаналізувати пробу повітря. Отримані дані щодо запиленості висвічуються на дисплеї у вигляді окремих значень, таблиці або гістограми, а також можуть бути роздруковані або записані в пам'ять приладу. Перевагами аналізуючого приладу є швидкість отримання даних (від 30

секунд), можливість роботи в безперервному режимі вимірювань, наявність системи сигналізації перевищення заданої концентрації.



Рисунок 2.1 – Лабораторний стенд запиленості повітря

До складу установки входять: прозора пилова камера; пристрій нагнітання потоку частинок пилю; дозуючий пристрій; аспіратор для відбору запилених проб; аллонж для фільтрів відбору частинок пилю; двоканальний вимірювач температури; комплект фільтрів АФА-РСП -10 (рис 2.2); вимірювач витрати повітря через фільтр; вимірювач перепаду тиску на фільтрах; USB мікроскоп; система вимірювання. Система вимірювання підключається до комп'ютера або обчислювальному пристрою.

Аспіратор, який використовується роботі, призначений для відбору проб повітря для визначення вмісту пилю і аерозолів шляхом прокачування заданого обсягу проби через фільтри типу АФА, АФА-РСП -10. При екологічному контролі атмосферного повітря. Його основні технічні характеристики наступні: 1. Кількість паралельно відібраних проб - від 1 до 3; 2. Сумарна витрата повітря не менше 200 л / хв; 3. Тривалість відбору проби - від 2 до 40 хв; 4. Обсяг проби повітря вимірюється цифровим витратоміром з відносною похибкою +/- 10%.

У комплект поставки фільтрів АФА-РСП -10 (рис 2.2), як правило, входять самі фільтри з паперовою підкладкою і паперові тримачі для фільтрів.

Габаритні розміри: площа робочої поверхні 10см<sup>2</sup> для АФА-10, 20см<sup>2</sup> для АФА-20, 40см<sup>2</sup> для АФА-40, 3см<sup>2</sup> для АФА-3



Рисунок 2.2 – Фільтри типу АФА, АФА-РСП -10

Використання експериментального стенду дозволяє:

1. запропонувати найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферне повітря;
2. створити інформаційну модель поширення забруднення в атмосферному повітрі, яка б дозволяла прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій;
3. теоретично дослідити та експериментально визначити розмір частинок основної маси шахтового пилу, з метою визначення його концентрації на межі санітарно-захисних зон шахт;
4. розробити й експериментально перевірити комбіновану систему фільтраційного очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів.

## 2.2 Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин

Шахтовий пил розглянуто як систему зважених часток у повітрі, які між собою не взаємодіють. Тому, рух окремо взятої частинки описується рівнянням Ланжевена:

$$M \frac{\partial v}{\partial t} = -bv - Mg + \rho_0 Vg + f_{st} \quad (2.1)$$

де величина  $M = \rho V$  – маса частинки;  $V = 4\pi R^3/3$  – об'єм;  $\rho$  – щільність частинки, г/см<sup>3</sup>; величина  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння, а  $\rho_0$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $f_{st}$  – випадкова сила, яка діє на частинку та пов'язана з Броунівським рухом молекул, Н.

Для спрощення обмежувалися розглядом руху частинок по вертикалі.

Перший доданок в (2.1) визначає собою силу тертя, і коефіцієнт тертя  $b$ , з одного боку, пов'язаний з коефіцієнтом дифузії  $D$  за допомогою співвідношення Ейнштейна:

$$D = \frac{k_B T}{b} \quad (2.2)$$

а, з іншого боку, для сферичних частинок визначається за формулою Стокса:

$$b = 6\pi\eta R \quad (2.3)$$

де величина  $\eta$  – в'язкість повітря;  $R$  – радіус. Величина коефіцієнта тертя  $b$  за довідковими даними дорівнює  $b = 2,85 \cdot 10^{-6} R$  [кг/с].

Другий і третій доданки в (2.1) визначаються наявністю поля тяжіння, і відповідають силі тяжіння і силі Архімеда. Величина  $M = \rho V$  – маса частинки,

$V = 4\pi R^3 / 3$  – об'єм,  $R$  – радіус, а  $\rho$  – щільність частинки; величина  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі, а  $\rho_0$  – щільність повітря.

Останній доданок описує внесок випадкових зіткнень частинок пилу і представлений як випадкова сила.

Рівняння (2.1) дозволяє вивести так зване рівняння Фоккера-Планка для функції розподілу частинок за швидкостями  $h = h(z, v)$ :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + v \frac{\partial h}{\partial z} - Mg \frac{\partial h}{\partial v} = \frac{b}{T} \frac{\partial}{\partial v} \left\{ \frac{k_B T}{M} v \frac{\partial h}{\partial v} + h \right\}. \quad (2.4)$$

Розв'язання рівняння відобразить в цілому еволюцію пилу в межах поля тяжіння з урахуванням дифузії.

### 2.3 Методики проведення експериментальних досліджень

При плануванні експерименту за класичними вимогами системного аналізу було визначено «вхідний масив» (параметри повітряної суміші шахтного викиду), оператор перетворення – комплекс заходів очищення з використанням дворівневої системи фільтрації та «вихідний масив» (параметри якості повітря викиду після очистки).

Задля визначення екологічного впливу шахтних викидів на атмосферне повітря регіону й розробки ефективних заходів стабілізації та поліпшення стану навколишнього природного середовища, в першу чергу, необхідно було визначити середні концентрації пилу у цих викидах та їх дисперсний склад.

Концентрацію пилу в шахтових викидах визначали ваговим методом, основаним на визначенні збільшення ваги фільтру, через який проходить визначений об'єм повітря, що досліджується.

В усіх дослідах використовувалися наступні матеріали, прилади і обладнання:

- набір фільтрів АФА-РСП-10, здатних затримувати пил;



- фільтроутримувач (алонж);
- гумові трубки для з'єднання приладів (повітроводи);
- секундомір;
- барометр-анероїд;
- аналітичні ваги ВЛР-200;
- термометр;
- ротаметр.

Схема експериментальної установки наведена на рис. 2.1.

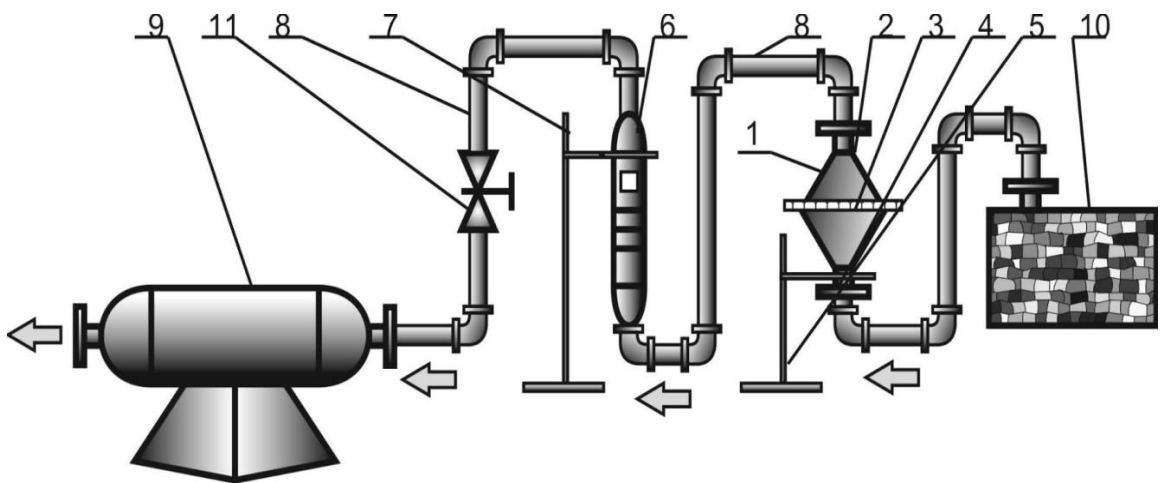


Рисунок 2.1 – Схема лабораторної експериментальної установки для визначення запиленості атмосферного повітря шахтовими викидами:

1 – фільтр; 2 – верхня кришка фільтра; 3 – фільтруючий елемент; 4 – нижня частина фільтра; 5 – штатив з утримувачем; 6 – ротаметр; 7 – штатив з утримувачем; 8 – з'єднувальна трубка; 9 – пилосос; 10 – оголовок шахтового викиду; 11 – гвинтовий затискач.

Концентрація пилу в повітрі шахтних викидів визначалася за формулою:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0}, \quad (2.5)$$

де  $m_1$  – вага фільтра до відбору проби, мг;

$m_2$  – вага фільтра після відбору проби, мг;

$V_0$  – об'єм повітря, який пройшов крізь фільтр, м<sup>3</sup>.

Цей об'єм повітря попередньо приводився до нормальних умов (тобто об'єму, який би він займав при температурі 0°C і нормальному атмосферному тиску –101325 Па) за формулою:

$$V_0 = \frac{V \cdot \left( \frac{273}{273+t} \right) \cdot \frac{P_1}{P_N}}{1000}, \quad (2.6)$$

де 273 – абсолютна температура, К;

t – температура повітря, °С;

P<sub>1</sub> – фактичний барометричний тиск в момент відбору проби, Па;

P<sub>N</sub> – нормальний атмосферний тиск, 101325 Па;

V – об'єм повітря, який пройшов за визначений час при стандартних умовах, л.

Калібровочні дані ротаметра наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Калібровочні дані ротаметра

| Відмітка шкали         | 0    | 20  | 40  | 60  | 80  | 100 |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Витрата повітря, л/год | 80,8 | 194 | 310 | 426 | 564 | 697 |

Дисперсність пилу визначали методом мікроскопічних досліджень шахтного пилу, який збирали на фільтр АФА-РСП-10 аспіраційним методом. На поверхні фільтру вибиралася достатньо велика кількість кругових майданчиків, які являли собою видиме поле зору мікроскопа у вигляді кола діаметром 450 мкм. У кожному колі майданчика виконувався підрахунок часток і їх розподіл по діапазону фракцій із записом у спеціальну таблицю. Діапазон фракцій нерівномірний, його вибір обумовлений розмірами фракцій часток пилу, які осідають у відділеннях респіраторного тракту людини. Відділи респіраторного тракту людини у відповідності з дозиметричною моделлю

дихальної системи [47] представлені у вигляді набору фільтрів, що мають специфічні властивості ефективного уловлювання аерозольних часток.

На практиці властивості пилу прийнято описувати функцією розподілу  $D(\delta)$  маси матеріалу за діаметрами часток  $\delta$  зв'язаною з нею функцією  $R(\delta)$  [48]. Функція  $D(\delta)$  дорівнює вираженню у відсотках відношенню маси усіх часток, діаметр яких менше  $\delta$ , до загальної маси пилу у зразку. Функція  $R(\delta)$  визначається як виражене у відсотках відношення маси усіх часток, діаметр яких більше  $\delta$ , до загальної маси пилу у зразку.

Для аналітичного опису кривих розподілу запропоновані різні формули. Академік Колмогоров А.М. теоретично довів справедливність логарифмічно-нормального розподілу для усіх випадків часток речовини, отриманих механічним подрібненням протягом тривалого часу [49].

Функція логарифмічно-нормального розподілу маси часток за діаметрами часток має вигляд [49].

$$D(\delta) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma} \int_{-\infty}^{\lg \delta} e^{-\frac{(\lg \delta - \lg \delta_{50})^2}{2 \lg^2 \sigma}} d \lg \delta \quad (2.7)$$

де  $\delta_{50}$  – медіана розподілу маси часток, що представляє собою такий розмір часток, по якому уся маса пилу розділяється на дві рівні частини (тобто маса усіх часток менша  $\delta_{50}$ , так само, як і маса усіх часток більша  $\delta_{50}$ , становлять 50% загальної маси матеріалу);

$\lg \sigma$  – стандартне (середньоквадратичне) відхилення логарифмів діаметрів від їх середнього значення  $\bar{\delta}$  :

$$\lg \sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\lg \delta_i - \lg \bar{\delta})^2},$$

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i, \quad (2.8)$$

де  $N$  – кількість часток;

$\delta_i$  – розмір (діаметр)  $i$ -ої частки.

Інтеграл, що входить у рівняння (2.7) не може бути виражений через елементарні функції. Для розрахунку цієї функції її перетворюють у функцію нового аргументу  $t$  [49]:

$$t = \frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}. \quad (2.9)$$

Після підстановки формули (2.9) у рівняння (2.7), отримаємо функцію аргументу  $t$ :

$$D(\delta) = F(t) = F\left(\frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}\right) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2.10)$$

яка зветься нормованою функцією нормального розподілу.

## 2.4 Оцінка надійності результатів експериментів

Результати експериментів обробляли відповідно до рекомендацій Міжнародного Союзу чистої та прикладної хімії (ІНПАК) за методами визначення й формі позначення помилок і відхилень, одержуваних у процесі масових аналітичних досліджень [50]. При цьому використали наступні формули:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.11)$$

де  $n$  – загальне число повторних визначень;

$x$  – результати окремого визначення;

$i$  – поточний номер повторного визначення.

Дисперсія окремого результату:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (2.12)$$

де  $n - 1$  – число ступенів свободи кожного визначення.

Стандартне відхилення окремого результату:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (2.13)$$

Стандартне відхилення середнього результату (середня квадратична помилка середнього арифметичного):

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (2.14)$$

Точність визначення середнього результату:

$$E_\alpha = t_\gamma \cdot S_{\bar{x}}, \quad (2.15)$$

де  $\gamma$  - коефіцієнт надійності;

$t_\gamma$  - коефіцієнт Стюдента.

Відносна похибка середнього результату:

$$\delta = \frac{E_\gamma}{\bar{x}} \cdot 100. \quad (2.16)$$

Відтворюваність дослідів перевіряли за критерієм Кохрена [50]

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N (S_i^2)} \leq G(0,05; f_N; fx). \quad (2.17)$$

де  $N$  – число повторних дослідів;

$S_{\max}^2$  – найбільша дисперсія досвіду;

$G(0,05; f_N; fx)$  – табличне значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значимості;

$f_N = N$  – число незалежних оцінок;

$fx = n - 1$  – число ступенів свободи кожної оцінки.

Процес вважається відтвореним, якщо виконується нерівність (2.17) і будь-яке значення Кохрена, отримане розрахунковим шляхом за даними експериментів, менше його табличного значення.

При цьому дисперсія відтворюваності (помилка дослідів) визначається за формулою:

$$S_Y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_X^2}{N}. \quad (2.18)$$

З нею зв'язане число ступенів вільності  $f_N = N(n - 1)$ .

Оцінку дисперсій середнього значення розраховують за формулою:

$$S_y^2 = \frac{S_y^2}{n}. \quad (2.19)$$

На підставі повного факторного експерименту розраховуються коефіцієнти регресії за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (2.20)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ji} y_j, \quad (2.21)$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ji} x_{jm} y_j, \quad (\text{де } l \neq m). \quad (2.22)$$

Для встановлення значимості коефіцієнтів необхідно насамперед розрахувати оцінку дисперсії, з якої вони визначаються:

$$S_b^2 = \frac{S_x^2}{n}. \quad (2.23)$$

Слід зазначити, що за допомогою повного факторного експерименту всі коефіцієнти визначаються з однаковою похибкою.

Прийнято вважати, що коефіцієнт регресії значимий, якщо виконується умова

$$|b| \geq S_b t_\gamma, \quad (2.24)$$

де  $t_\gamma$  - коефіцієнт Стюдента .

Одержавши рівняння регресії, необхідно перевірити його адекватність. Встановлення адекватності – це визначення похибки апроксимації.

Для встановлення адекватності необхідно розрахувати експериментальне значення критерію Фішера –  $F_p$  і порівняти його з теоретичним  $F_T$ , що приймається при необхідній довірчій імовірності  $P = 0,95$ .

Критерій Фішера визначається за допомогою співвідношення:

$$F_p = \frac{\max(S_{ad}^2, S_y^2)}{\min(S_{ad}^2, S_y^2)}, \quad (2.25)$$

Де  $S_{ad}^2$  – оцінка дисперсії адекватності.

Оцінку дисперсії адекватності варто визначати за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j^e - y_j^p)^2}{n - B}, \quad (2.26)$$

де:  $n$  – загальне число дослідів повного факторного експерименту;

$y$  – кількість коефіцієнтів регресії, включаючи й вільний член;

$y_j^e, y_j^p$  – експериментальне й розрахункове значення функції відгуку в  $j$ -тім досліді.

З оцінкою адекватності зв'язане число ступенів вільності

$$f_{ad} = N - B. \quad (2.27)$$

Рівняння регресії адекватно, якщо виконується умова

$$F_p \leq F_T. \quad (2.28)$$

Відтворюваність дослідних даних у межах довірчого інтервалу

$$\bar{x} - t_\gamma \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t_\gamma + t_\gamma \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.29)$$

де:  $a$  – довірчий інтервал;

$\bar{x}$  – середнє арифметичне дослідних даних;

$t_\gamma$  – коефіцієнт Стьюдента ;

$S_x$  – середня квадратична помилка середнього арифметичного дослідних даних.

Перевірка відтворюваності дослідів показала, що процес відтворюємо, тому що будь-яке значення критерію Кохрена, отримане розрахунковим шляхом, менше його табличного значення 0,8709.

Обробку експериментальних даних виконували за допомогою багатоплатформового, вільно розповсюдженого офісного пакету з відкритим вихідним кодом LibreOffice.

## 2.5 Методика експериментальної перевірки ефективності пристроїв уловлювання дрібнодисперсних часток пилу

Пристрій для уловлювання дрібнодисперсних часток пилу повинен створювати такі умови, при яких на частку діє керована сила заданої величини і напрямлення, що забезпечує відокремлення частки від потоку повітря до її виходу з пристрою. Крім того, важливо, щоб ця сила діяла постійно, навіть після завершення процесу відокремлення частки від потоку повітря. Це необхідно для надійного утримання частки у пилонакопичувачі.

Названі умови можна створити в динамічному пристрої, який являє собою кільцевий канал, створений двома співвісними трубами різного діаметру. На вході у кільцевий канал встановлені лопатки, які жорстко скріплені з обома трубами і обертаються разом з ними навколо осі труб. У результаті закрутки на пил діє відцентрова сила, яка спрямовує частки пилу до зовнішньої стінки кільцевого каналу та утримує їх там після дотику.

Для аеродинамічного розрахунку такого пристрою використовувався програмний комплекс FlowER [51], оснований на численному інтегруванні осереднених за Фавром рівнянь Нав'є–Стокса [52], для замкнення яких було застосовано двопараметричну модель турбулентності переносу здвигових напружень [53].

При розрахунку в повітряному потоці твердих часток пилу було зроблено припущення, що вони не впливають на характеристики течії. Таке припущення є виправданим для умов, що розглядаються, коли концентрація пилу є невеликою, а розмір часток – малим (1–10 мкм). Для визначення траєкторії руху твердих часток застосовувалася методика, що ґрунтується на інтегруванні за часом рівнянь руху Ньютона з урахуванням усіх діючих сил (аеродинамічний опір, сила тяжіння, відцентрова і каріолісова сили тощо).



## 2.6 Характеристика об'єкта дослідження

Дніпропетровська область знаходиться у південно-східній частині України, в басейні середньої і нижньої течії Дніпра. На сході вона межує з Донецькою, на півдні – із Запорізькою і Херсонською, на заході – з Миколаївською та Кіровоградською, на півночі – з Полтавською та Харківською областями України.

Територія області – 31,92 тис. км<sup>2</sup>, що складає 5,3 % території країни. Адміністративний центр області – місто Дніпро розташоване по обидва береги річок Дніпро та Самара [54].

Область поділяється на 22 адміністративні райони, включає в себе 13 міст обласного і 7 – районного підпорядкування, 46 селищ міського типу, 1435 сільських населених пунктів [54].

Чисельність населення області становить 3231,14 тис. чоловік. Кількість населення у місті Дніпро – 1002,944 тис. чоловік. Чисельність міського населення області – 2706,984 тис. чоловік (83,8 %), сільського – 524,156 тис. чоловік (16,2 %) [55].

Область розташована у степовій зоні України. Ландшафт переважно рівнинний. На заході області простяглось значно почленоване Придніпровське узвишся (висота до 209 м). У південно-східну частину її входять відроги Приазовського узвишся (до 211 м). Центральна частина зайнята Придніпровською низиною, яка на півдні переходить в Причорноморську. З північного заходу на південний схід область перетинає ріка Дніпро, до басейну якої належать її притоки – Оріль, Самара із Вовчою, Мокра Сура, Базавлук, Інгулець із Саксаганню та інші [55].

В області близько 1,5 тисячі водойм та ставків площею понад 26 тисяч гектарів. На півдні територія області омивається водами Каховського водосховища.

Дніпропетровщина розташована в зоні помірних широт. Клімат області помірно-континентальний. У цілому він характеризується відносно

прохолодною зимою і спекотним літом. Середня річна температура в межах  $+7$  –  $+9$  °С. Найхолодніший місяць – січень ( $-5$  –  $-7$  °С), найтепліший – липень ( $+22$  –  $+23$  °С). Річна кількість опадів збільшується від  $400$  –  $430$  мм на півдні до  $450$  –  $490$  мм на півночі. Кількість сонячних днів складає в середньому  $240$  днів на рік [54].

За різноманітністю і значимістю природних ресурсів Дніпропетровська область є однією з найбагатших в Україні. Майже на всій території області переважають родючі чорноземні ґрунти. Розгалужена система водопостачання дозволяє вести інтенсивне сільське господарство.

Дніпропетровщина багата на корисні копалини. Мінерально-сировинна база характеризується широкою різноманітністю видів і значними запасами деяких корисних копалин. В області виявлено близько  $300$  родовищ та значні запаси паливно-енергетичної сировини – вугілля, нафти, газу і газоконденсату, а також талько-магнезитової, каолінової, уранової, будівельної та ін. Родовища залізної (м. Кривий Ріг) та марганцевої руди (м. Марганець та м. Покров) – світового значення. У результаті геологорозвідувальних робіт виявлено золоторудні родовища в Солонянському та Нікопольському районах [54].

До засобів інженерного забезпечення вентиляції шахт відносяться вентиляторні установки, вентиляційні спорудження, вентиляційні регулятори, вентиляційні трубопроводи, гірничі виробітки, прохідні спеціально для вентиляції (вентиляційні виробітки), засоби зниження аеродинамічного опору виробітків і витоків повітря [48].

Розрізняють вентиляцію загальношахтну, при якій повітря, що подається з поверхні, омиває основні виробітки шахти, і місцеву (локальну) вентиляцію.

Основні схеми вентиляції шахти центральна й флангова та їх комбінація – комбінована схема схематично були описані в розділі 1 [22].

При невеликих і середніх розмірах шахтних полів, невеликій потужності та кратності повітря обміну шахт, застосовують єдині схеми вентиляції [57]. На великих шахтах з високою пилогазообільністю та при об'єднанні декількох шахт і розробці однією шахтою декількох віддалених один від одного покладів,

використовують секційні схеми вентиляції шахти, при яких шахтне поле ділиться на відокремлено вентилязовані секції [58]. Способи вентиляції шахт – усмоктувальний, нагнітальний, комбінований (нагнітально-усмоктувальний) також схематично були описані нами раніше в розділі 1.

Одна із проблем вентиляції шахти – це витoki повітря, що відбуваються через вентиляційні спорудження на шахтах та на поверхні, завалені породи, порушені цілики [59]. Все це зменшує надходження повітря до ділянок та викликає порушення вентиляції шахти. Для компенсації витоків збільшують подачу повітря в шахту. Для боротьби з витокami проводять більш щільну герметизацію вентиляційних споруджень, ізоляцію вироблених просторів, використовують польові виробки, розробляють найбільш раціональні схеми вентиляції для кожної окремої шахти, знижують загальношахтні депресії.

Найбільш важливе завдання вентиляції шахти – забезпечення прийнятних умов для роботи людей та максимально можливої безпеки при можливих аваріях (шахтних пожежах, вибухах газу, пилу, раптових викидах вугілля, гірських ударах тощо) та при ліквідації їх наслідків. Правила безпеки пред'являють особливі вимоги до вентиляції шахт при аваріях. Це, перш за все, попередження поширення отруйних газів по шахті; швидке й надійне реверсування вентиляційних струменів; попередження (запобігання) утворенню небезпечних концентрацій вибухових газів. Режими вентиляції шахт при аваріях зазвичай змінюють: застосовують збільшення або зменшення витрат повітря (залежно від типу аварії) аж до припинення вентиляції; реверсування повітря; в деяких випадках залишають нормальну вентиляцію.

Рішення по всім питанням щодо вентиляції приймає вентиляційна служба гірничо-видобувного підприємства, в завдання якої входить також контроль правильності розподілу повітря по виробках та дотримання норм подачі повітря на ділянки, контроль за якістю складу повітря, проведення повітряних і депресійних зйомок, профілактика та ремонт вентиляційних виробок і споруджень. Вимоги щодо підвищення ефективності та надійності вентиляції шахт відображаються на сталій роботі всього виробничого комплексу. Їх

здійснюють за допомогою засобів автоматизації та дистанційного контролю параметрів вентиляції шахт [60].

На сьогоднішній день у вугільній промисловості здебільшого використовують програмні засоби, комплекси й автоматизовані робочі місця (АРМ), що дозволяє проводити розрахунки повітророзподілення в гірничих виробках на основі розв'язання системного вентиляційного завдання. Моделювання повітророзподілення у виробках широко застосовується для обробки результатів депресійних зйомок, при проектуванні гірничих робіт, реконструкції шахтних вентиляційних мереж, при складанні планів ліквідації аварій. Нижче ми приведемо деякі нові системи моделювання різних ситуацій, що виникають на шахтах, з точки зору теорії імовірності. Насамперед це стосується надзвичайних ситуацій.

Вченими було розроблено комбінований метод розрахунків для вентиляційних мереж із застосуванням програмно-обчислювального комплексу [61] – потужного програмного продукту, що дозволив робити вентиляційні розрахунки будь-якої складності, будувати розрахункові математичні моделі вентиляційних мереж шахт, проводити моделювання різноманітних технічних і технологічних рішень по оптимізації провітрювання будь-яких ділянок шахт, розраховувати стаціонарне і нестаціонарне розподілення повітря в системі, моделювати роботу пристроїв автоматичного регулювання розподілу повітря та систем оптимального керування провітрюванням, випробовувати алгоритм керування вентиляційними системами. Впровадження імітаційного моделювання роботи систем автоматизації провітрювання – це можливість уникнути помилок при їх розробці, можливість вибрати найбільш ефективні технічні рішення ще до початку стадії проектування, оцінити потенційно-небезпечні ділянки, передбачити можливі проблеми і забезпечити оптимальні шляхи їх вирішення. Складність комбінованого методу розрахунків полягає в тому, що первинні вхідні дані надходять при зчитуванні аеродинамічної інформації, або на основі сигналів від датчиків витрати повітря.

Науково-виробничим об'єднанням (НВО) «Респіратор» (м. Донецьк) був розроблений комплекс програмних продуктів та баз даних «Вентиляція шахт» для розв'язання завдань щодо вентиляції шахт й розробки планів ліквідації аварій, зокрема проведення аварійно-рятувальних робіт [57]. Програмний комплекс (ПК) «Вентиляція шахт» містить у собі програмне забезпечення для розв'язання прикладних завдань, графічний редактор для створення баз даних, їх коректування та наочної постанови результатів розрахунків на схемах. У наші дні розроблений ПК «Вентиляція шахт» використовується та впроваджується на багатьох шахтах України [58, 59].

Склад шахтної атмосфери, кліматичні умови в підземних виробках, припустимі вмісти вуглекислого пилу, метану, шкідливих речовин, швидкість руху повітря в гірських виробках повинні відповідати вимогам чинних Правил безпеки у вугільних шахтах. Параметри температури та вологості атмосферного повітря, теплофізичні характеристики гірських порід, геотермічні дані порід розраховуються та ухвалюються відповідно до Єдиної методики прогнозування температурних умов у вугільних шахтах [27].

Класичною працею стосовно цього питання прийнято вважати монографію В. Н. Воронина «Основы рудничной аэро-газодинамики» [59], в якій автор наводить теоретичне обґрунтування фізико-механічної сутності процесів розсіювання й видалення газів та пилу вентиляційним струменем, робить аналіз ефективності основних та супровідних процесів, приводить нові науково обґрунтовані методи розрахунків провітрювання різних видів підготовчих і очисних виробок. Аналіз сучасного стану цього питання показав, що згідно існуючих вимог екологічної безпеки, підтримка встановлених норм вмісту промислового пилу в атмосферному повітрі поблизу промислового підприємства повинна забезпечуватися нормуванням пилових викидів з кожного організованого джерела, яке перебуває на території цього підприємства, в межах установленої для нього санітарно-захисної зони (СЗЗ). На практиці СЗЗ встановлюються, як правило, розрахунковим шляхом і перебувають в межах від 50 до 3000 м залежно від класу небезпеки

підприємства. Однак допустимі рівні викидів зазвичай перевищуються, що приводить до недотримання норм запиленості повітря в межах та поза межами СЗЗ. Це в свою чергу тягне за собою збільшення грошових компенсацій, що виплачуються підприємствами в бюджет у вигляді штрафів за забруднення навколишнього середовища [60].

Розв'язання завдань локалізації забруднень перешкодить розсіюванню пилу, наприклад, у житлових зонах, що розташовані поряд із промисловими підприємствами, створить передумови до поступового зменшення розмірів СЗЗ [61].

На практиці для локалізації пилових викидів (гірничо-видобувні підприємства не є виключенням) використовують засоби пилопригнічення, наприклад, гідрозрошувачі. Однак при локалізації викидів пилу в атмосферу з міркувань екологічної безпеки неприпустиме застосування змочувачів на основі синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), які широко використовуються в закритих приміщеннях або гірських виробках. У деяких випадках на шляху потоку, що викидається, неприпустиме розміщення засобів, що збільшують аеродинамічний опір руху потоку, зокрема, в устях вентиляторів головного провітрювання шахт. Крім того, як відомо, краплинна рідина, що впорскується в повітряний потік, утворює при взаємодії із частками пилу рідкі аерозолі із твердим ядром (частка пилу поринає в краплю й обволікається рідиною), забезпечуючи при пилопригніченні в обмеженому просторі швидке їх осідання за рахунок істотного збільшення розміру й маси агломератів, що утворюються. Фактично при зрошенні потоку краплями рідини відбувається трансформація дисперсного складу пилового викиду, у якому суттєво збільшується частка великих часток-агломератів з більш високою швидкістю осідання. Слід очікувати, що в міру переносу таких часток у повітрі, їх рідка оболонка буде випаровуватися або вони будуть коагулювати при перемішуванні в природному турбулентному потоці. В першому випадку процес призведе до зниження швидкості осідання, а в другому – до підвищення.

Залишкове запилення повітря в гірських виробках, як правило, перебуває на відносно високому рівні [62]. Повітряні потоки, що виходять із очисних і підготовчих виробок, потребують додаткової очистки, наприклад, за допомогою водоповітряної (туманоутворюючої) завіси. Для цього використовують плоскоструменеві форсунки. Більш ефективними вважаються туманоутворюючі завіси, що створюються туманоутворювачами (наприклад, типу ОП-1 або ТЗ-1В). Діаметр крапель туману, що утворюється ними, не перевищує 10-50 мікрон. Розпилена в такий спосіб вода досить тривалий час здатна утримуватися в повітрі [62].

Крім того, у вугільній промисловості потужними джерелами забруднення атмосфери є вентиляторні установки головного провітрювання, які протягом доби викидають у техногенний пиловий ковпак, що покриває шахтний поверхневий комплекс, більше 1,5 тонни аерозольного пилу кожна, створюючи при цьому перевищення ГДК в 2-3 рази. З усіх речовин, що входять до вмісту викидів, найбільше шкодять здоров'ю людей вільний і зв'язаний двоокис кремнію, що провокує небезпечні захворювання органів дихання. Крім того, такий пил агресивно діє на устаткування поверхневого комплексу шахт. Для боротьби з ним (пилом) застосовують фільтруючі системи [63]. Атмосфера є середовищем для розміщення газоподібних відходів виробництва. Процес самоочищення атмосфери не може охопити всі рівні навантаження, що виникають у результаті техногенної діяльності людини. [63].

Видобуток мінеральної сировини – один з найбільших джерел утворення та викидів в атмосферу забруднюючих речовин серед усіх галузей промисловості країни. Джерелами забруднення атмосфери тут є терикони, відвали, відкриті розрізи, ділянки навантаження, розвантаження та транспортування сировини, проведення вибухових робіт, а також викиди з вентиляційних систем шахт тощо [63].

В рамках цього дослідження проаналізуємо наявну ситуацію саме з викидами з вентиляційних систем шахт.

Розсіювання в атмосфері забруднюючих речовин, що викидаються з вентиляційних пристроїв, підкоряється законам турбулентної дифузії. На процес їх розсіювання впливають наступні фактори: стан атмосфери, фізичні та хімічні властивості речовин, що викидаються, висота, діаметр та розташування джерел викидів, рельєф місцевості, а також метеоумови.

Очищення пилогазових викидів є основним заходом щодо захисту і відновлення повітряного басейну шахтарського регіону. Сьогодні існують різні методи очищення викидів від твердих, рідких і пилогазоподібних домішок. На основі цих методів розроблено велику кількість пристроїв і апаратів, при комплексному використанні яких досягається високоефективне очищення пилогазових викидів [64].

Апарати очищення вентиляційних і технологічних викидів в атмосферу діляться на: пиловловлювачі (сухої інерційної очистки, мокрої очистки, фільтрації, електростатичного осадження); туманоуловлювачі (низько- та високошвидкісні); апарати для вловлювання пару та газів (абсорбційні, хемосорбційні, адсорбційні та термічні і термокаталітичні нейтралізатори, біохімічні реактори); апарати багатоступінчастого очищення (уловлювачі пилу й газів, уловлювачі туманів й твердих домішок, багатоступінчасті пиловловлювачі) [65-66]. До основних вимог, що пред'являються до апаратів пило- та газоочищення, відносяться їх висока експлуатаційна надійність та достатня ефективність очищення. Чим вищий ступінь очищення газів і чим дрібніші частинки пилу, що вловлюються, тим більшими виявляються питомі капітальні витрати на спорудження таких установок і витрати на їх утримання та експлуатацію. Серед техніко-економічних показників роботи установок слід враховувати відвернений збиток від можливого забруднення атмосферного повітря у разі відсутності очищення.

Робота очисних апаратів характеризується рядом параметрів. Основними з них є ступінь та ефективність очищення, гідравлічний опір, споживана потужність та коефіцієнт проскоку (тобто відношення кількості забруднюючої



речовини, що виходить з викидами з апарату пилогазоочищення, до кількості, що надійшла до нього).

Найбільш широке застосування на практиці одержали сухі пиловловлювачі – так звані апарати сухої інерційної очистки. Принцип дії таких апаратів полягає в інерційному осадженні пилу в результаті зміни напрямку і швидкості руху газового потоку, при якому відбуваються удари найбільш крупних часточок пилу (зазвичай в 30-100 мкм) об стінки камери й поперечні перешкоди. Подібні апарати відрізняються відносною дешевизною, простотою конструкцій та виготовлення. Вони, як правило, використовуються в якості першого ступеня очищення газів, знижуючи навантаження на наступні ступені очищення і допомагають (запобігають) уникнути осадження пилу в технологічних мережах [67].

Найпростішими установками для уловлювання грубодисперсного пилу, що працюють за принципом гравітаційного осадження, є пилоосаджувальні камери (рис. 2.2). Принцип їх дії заснований на тому, що частинки, що рухаються в газовому потоці, опускаються під дією сили тяжіння на дно приймального бункера і залишаються там. Ступінь очищення в таких апаратах залежить від форми і розміру частинок пилу, часу перебування їх в камері та швидкості газового потоку, який не повинен допускати винос частинок пилу, що вже встигли осісти [22].

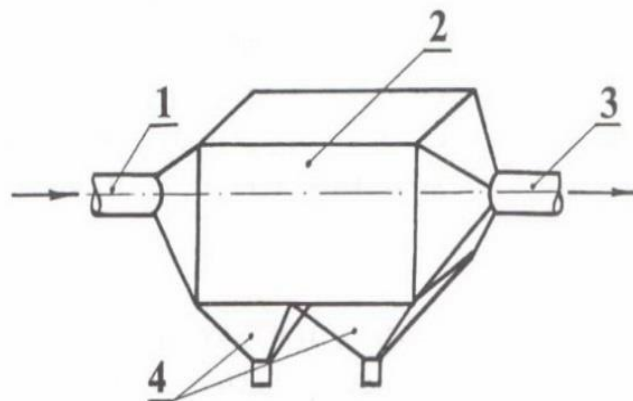


Рисунок 2.2 – Пилоосаджувальна камера: 1 – вхідний патрубок; 2 – корпус; 3 – вихідний патрубок; 4 – бункери для пилу

Існують інші види інерційних пилоуловлювачів: жалюзійні, вентиляторні та радіальні, що конструктивно відрізняються від описаного вище, але з тим же принципом дії – працюють на основі відцентрованої сили.

Більш тонке очищення забезпечується за допомогою найбільш поширених в сучасній промисловості пилоуловлюючих апаратів, призначених для уловлювання часток розміром 5-20 мкм і менших – так званих циклонів (рис. 2.3) різних конструктивних типів. В них обертально-поступальний рух газового потоку досягається шляхом його попередньо закрученого введення в циклон або шляхом використання спеціального завихрювача. В результаті дії відцентрових сил частинки пилу, зважені в потоці газу, відкидаються на стінки корпусу циклона і під дією сили тяжіння випадають з потоку, опускаються і надходять у бункер. Звільнений від пилу потік продовжує обертатися, змінює напрямок руху на протилежний і виходить з циклону через розташовану на осі вихлопну трубу. По мірі наповнення бункера пил через пиловий затвор відвантажується на утилізацію чи захоронення. Очищене повітря відводиться через вихідний патрубок з циклону. Для сталої роботи циклону необхідно забезпечення герметичності його бункерів. Якщо бункер негерметичний, то через підсмоктування зовнішнього повітря відбувається винос пилу з потоком через вихідний патрубок [58].

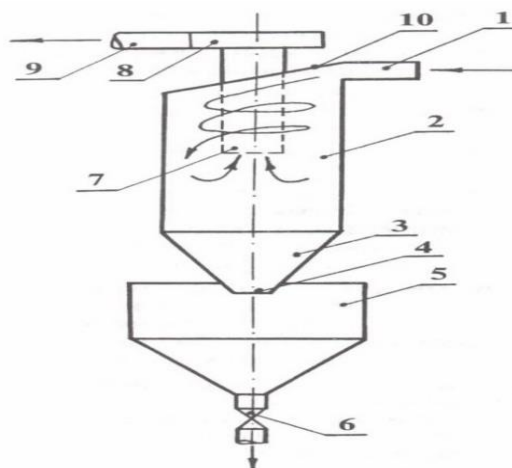


Рисунок 2.3 – Циклон: 1 – вхідний патрубок, 2 – циліндрична частина корпусу; 3 – конічна частина корпусу; 4 – пиловипускний отвір; 5 – бункер для пилу; 6 – пиловий затвор; 7 – вихлопна труба; 8 – равлик; 9 – вихідний патрубок; 10 – похила кришка

Циклони також рекомендується використовувати для попереднього очищення газів і встановлювати перед фільтрами або електрофільтрами.

Для очищення більших мас газів та підвищення ефективності очищення циклони компонують в групи паралельно встановлених циклонних елементів, конструктивно поєднаних в єдиний корпус зі спільним підведенням і відводом повітря – так звані батарейні циклони. Однак досвід експлуатації батарейних циклонів показав, що ефективність очищення в батареях нижче ефективності окремих апаратів в силу неконтрольованого перетікання газів між його елементами, хоча при їх використанні досягається істотна економія капітальних і експлуатаційних витрат [68].

Інший високоефективний тип апаратів сухого очищення газів – фільтри різних видів [69].

В основі роботи фільтрів всіх типів лежить фільтрація запилених повітряних мас крізь пористі перегородки, при якій частинки пилу (так званого дисперсного середовища) затримується цими перегородками, виробленими з паперу, тканин, волокнистих матеріалів, губчатої гуми, пінополіуретану, пористої кераміки, металевих в'язаних та тканих сіток, пресованих спіралей, зернистих шарів різного складу тощо, а газ безперешкодно проходить крізь них. Суттєво ускладнює експлуатацію фільтрів той факт, що по мірі накопичення на фільтрі частинок пилу швидкість проходження газу поступово знижується. Фільтруючий елемент необхідно періодично піддавати процесу регенерації (очищенню). Засобами регенерації можуть виступати зворотні продувки, струшування та їх комбінації [70-72].

Фільтри з достатньою ефективністю затримують частинки пилу будь-якого розміру. Осадження часток пилу на поверхні пор фільтроелемента відбувається в результаті сукупної дії ефекту торкання, дифузійного, інерційного та гравітаційного ефектів [73].

Класифікація фільтрів заснована на типі фільтруючої перегородки, конструкції фільтра, його призначенні, тонкості очищення тощо. Класифікація фільтров основана на типе фильтровой перегородки,

конструкції фільтра и его назначении, тонкости очистки (мера увеличения пропускной способности). Як показала практика, найбільш доцільно використовувати фільтри для уловлювання часток пилу розміром менше 5 мкм. [74]

Ступінь очищення газів у фільтрі залежить від пористості фільтруючого матеріалу, товщини фільтруючого шару, обсягу відфільтрованого матеріалу в одиниці об'єму фільтра і сумарного коефіцієнта захоплення частинки пилу фільтруючим волокном, величина якої в свою чергу залежить від механізму процесу фільтрування [74].

Наведемо інші приклади найбільш поширених на сьогоднішній день сухих фільтрів [75].

1. Найбільш розповсюджений – тканинний фільтр та його найбільш розповсюджена версія – рукавний фільтр (рис. 2.4). Ступень очищення пилоповітряної суміші від дрібнодисперсного пилу в рукавному фільтрі може досягати 97,9 % при невеликій швидкості проходження фільтрації. Безперервна його робота забезпечується за рахунок послідовного переводу рукавів в режим регенерації [75].

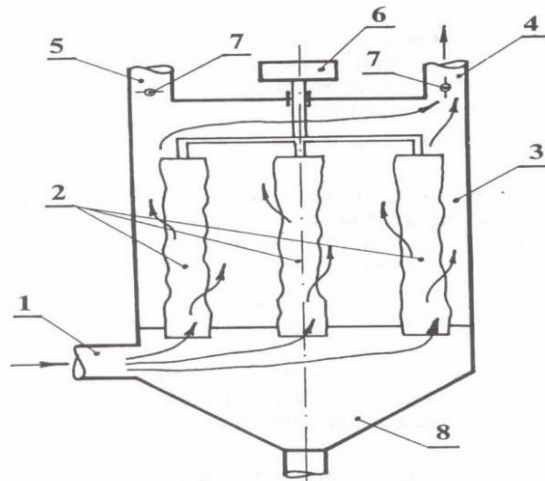


Рисунок 2.4 – Рукавний фільтр: 1 – вхід запиленого газу; 2 – рукава; 3 – корпус фільтра; 4 – повітропровід очищеного газу; 5 – повітропровід продувального повітря; 6 – механізм струшування; 7 – клапани; 8 – бункер для збору пилу

2. Волокнисті фільтри (рис. 2.5), що призначені для очищення слабозапиленних потоків повітря. В основі роботи таких фільтрів лежить процес проходження газового потоку крізь фільтрувальний матеріал (фільтрувальну перегородку), в ході якої зважені частинки затримуються в ньому, а гази повністю проходять назовні. Регенерація подібних фільтрів утруднена, тому блоки фільтруючих елементів по закінченні строків служби замінюють на нові. Фільтруючими елементами конкретно в цьому різновиді фільтрів виступають скловолокна, шлаковата, рідше відходи текстильного виробництва. Ступень очищення пилогазового потоку досягає 99 % при низькій швидкості фільтрації [75].

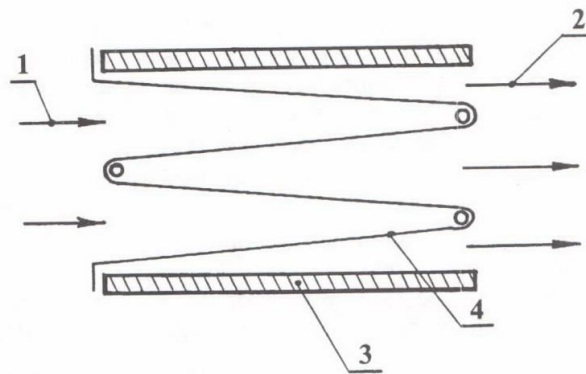


Рисунок 2.5 – Волокнистий фільтр: 1 – вхід газу; 2 – вихід газу; 3 – бокова стінка; 4 – фільтруючий матеріал

Для очищення повітря від туманів кислот, лугів, масел та інших рідин використовують різновид волокнистих фільтрів – туманоуловлювачі (рис. 2.6). Ці апарати, звісно, відносяться до мокрих очищувачів, але це волокнисті фільтри. Принцип їх дії заснований на осадженні крапель на поверхні пор фільтроелементу з наступним стіканням рідини по волокнах у нижню частину апарату. Осадження крапель рідини відбувається під дією броунівської дифузії або за рахунок інерційного механізму відділення часток забруднювача від газової фази на фільтроелементах в залежності від швидкості фільтрації  $W_{\phi}$ . Туманоуловлювачі поділяють на низкошвидкісні ( $W_{\phi} \leq 0,15$  м/с) – переважає

механізм дифузійного осадження крапель, і високошвидкісні ( $W_{\phi} = 2-2,5$  м/с), де осадження відбувається головним чином під впливом інерційних сил. У тих випадках, коли діаметри крапель туману становлять 0,6-0,7 мкм і менш, для досягнення прийнятної ефективності очищення доводиться збільшувати швидкість фільтрації, що приводить до помітного бризковідносу. Значно зменшити бризковіднос можна застосуванням бризкоуловлювачів у конструкції туманоуловлювача (наприклад, з пакетів сіток), на яких захват часток рідини відбувається за рахунок ефектів торкання та інерційних сил [76].

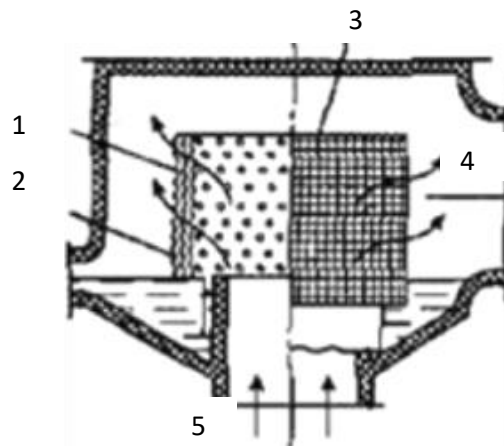


Рисунок 2.6 – Високшвидкісний волокнистий туманоуловлювач: 1 – бризкоуловлювач; 2 – фільтруючий матеріал; 3 – фільтруючий елемент (циліндричний), встановлений в шарі рідини; 4 – відвід очищеного газу; 5 – надходження туману

3. Зернисті фільтри (рис. 2.7) використовують при очищенні газів з високими температурами за умов агресивного середовища та при різких змінах температури та тиску. Це зазвичай ємності з насипним фільтруючим матеріалом – піском, щебенем, шлаком, тирсою, крихтою руди, вугілля, графіту, пластмас тощо. Їх використовують для уловлювання абразивного пилу, коли інші апарати неспроможні, а також для фільтрації пилу схильного до злипання. Їх особливістю є те, що існує можливість повернення фільтруючої речовини в технологічний процес, якщо використовується початкова сировина в якості фільтруючих зерен (частинки вугілля при очищенні від вугільного

пилу). Ступінь очищення може досягати 95-99,5 % при досить великій швидкості фільтрації.

Різновиди зернистих фільтрів – фільтри каталітичного сорбційного очищення, де використовуються каталізatori та сорбенти для уловлювання газоподібних домішок широкого хімічного складу з утворенням малорозчинних або малолетючих хімічних сполук [22, 76].

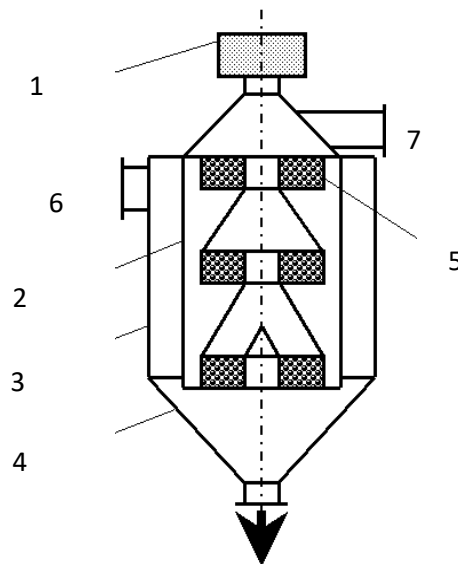


Рисунок 2.7 – Зернистий фільтр: 1 – генератор; 2 – розподільна перегородка; 3 – корпус фільтра; 4 – бункер; 5 – касета з фільтруючим елементом; 6 – вхід пилогазової суміші; 7 – вихід газу

4. Електричне очищення (електрофільтри, рис. 2.8) – один з найбільш досконалих видів очищення газів від зважених у них часток пилу й туману. Процес заснований на ударній іонізації газу під дією електростатичного поля, передачі заряду іонів газу часткам домішок і осадження останніх на осаджувальних та коронируючих електродах протилежного знаку заряду. Потім осаджені частинки видаляються з електродів методом струшування або промивною водою. До переваг використання електрофільтрів відносять високу ступінь очищення пилогазової суміші (аж до 99 %), можливість затримання часток широкого діапазону розмірів, високу продуктивність, стабільну роботу, та що найбільш важливо – можливість повної автоматизації процесу. Але їх забороняється використовувати для очищення вибухо- та пожежезабезпечених

сумішей газів, що веде до підвищених вимог та засобів безпеки при їх експлуатації. Також треба зазначити відносно високу вартість апаратів, що введені в дію [77].

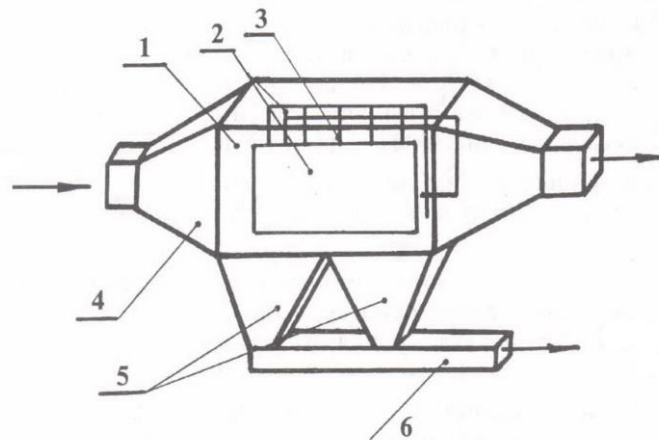


Рисунок 2.8 – Електрофільтр: 1 – корпус; 2 – осаджувальні електроди; 3 – коронуючі електроди; 4 – газорозподільний пристрій; 5 – бункери для збору пилу; 6 – система транспортування пилу

У вугільній промисловості сьогодні крім кількох типових конструкцій сухих фільтрів використовують і так звані мокрі фільтри, що теж з успіхом застосовуються для очищення технологічних викидів шахт. Отже мокра очистка викидів є одним з найбільш ефективних і широко поширених методів пило- та газоуловлювання. За допомогою мокрого очищення досягається висока ступінь вилучення твердих, рідких і газоподібних домішок. Основою процесу мокрої очистки є осадження частинок пилу на краплях або на шарі чи плівці рідини (найчастіше використовується вода, іноді її підлужують або підкислюють). Осадження часток пилу на рідину відбувається під дією сил інерції та броунівського руху.

Апарати мокрого очищення газів від пилу – мокрі пиловловлювачі – мають широке застосування, тому що характеризуються високою ефективністю очищення від дрібнодисперсного пилу з діаметром часток до 0,3 мкм, а також можливістю очищення від пилу нагрітих і вибухонебезпечних газів, крім того відрізняються простотою конструкції і експлуатації та відносно невисокою



вартістю. Однак «побічні ефекти» використання мокрих пиловловлювачів: 1) утворення стічних вод і шламу, які вимагають подальшої обробки та утилізації; 2) відбувається небажаний процес виносу вологи в атмосферу при охолодженні газів до температури краплі роси та утворення відкладань у відповідних газоходах; 3) необхідність створення оборотних систем подачі води. Ще один недолік мокрої очистки – відносно високі питомі витрати електроенергії та неможливість зупинити процеси корозії обладнання [77-78].

Найпростішим апаратом мокрої очистки, а також охолодження і зволоження викидів, є форсуночний скруббер (рис. 2.9). Принцип його роботи полягає в тому, що рідина у вигляді «дощу» «промиває» неочищений газ, що рухається протитоком, завдяки чому відбувається процес його очищення [79].

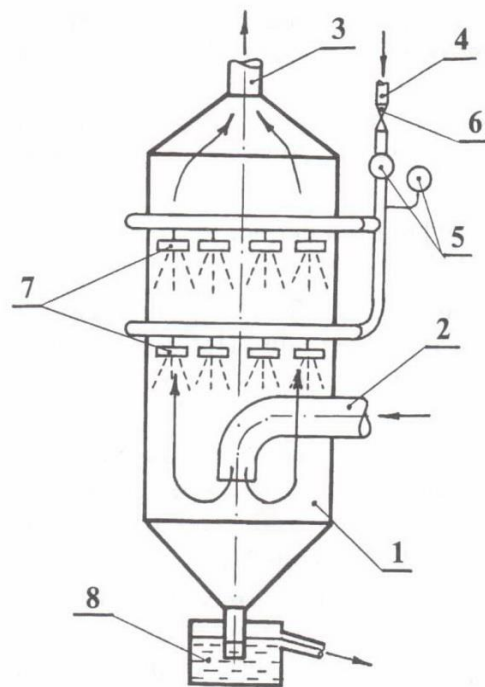


Рисунок 2.9 – Форсуночний скруббер: 1 – корпус; 2 – вхідний газохід; 3 – газохід очищеного газу; 4 – підвід рідини для зрошення; 5 – КВП параметрів рідини; 6 – засувка регулююча; 7 – форсунки ярусів зрошення; 8 – гідрозасув

Серед апаратів мокрого очищення з осадженням частинок пилу на поверхню крапель на практиці частіше за інших застосовують скрубери Вентурі

(рис. 2.10), в яких розпилення рідини відбувається за рахунок турбулентного руху потоку газу, що очищується, крізь конфузур так званої труби Вентурі [80].

Проходячи далі через інерційний краплеуловлювач, потік газу звільняється від крапель рідини, які утримують частинки пилу, звідки рідина відводиться через гідрозатвор.

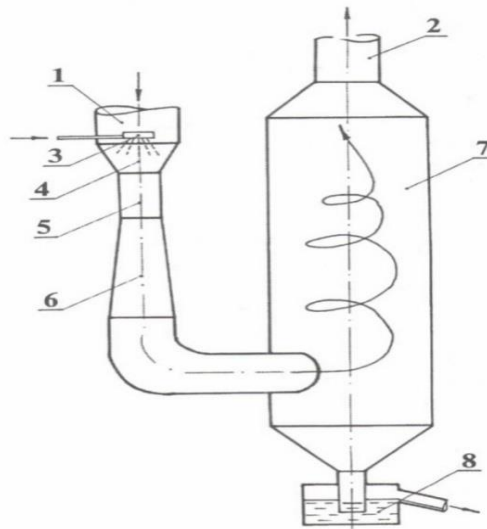


Рисунок 2.10 – Скрубер Вентури: 1 – вхід газу для очищення; 2 – вихід очищеного газу; 3 – зрошувальний пристрій; 4 – конфузур труби Вентури; 5 – горловина; 6 – дифузур; 7 – краплеуловлювач; 8 – гідрозасув

Розмір часток, що уловлюються в апаратах подібного типу – від 0,2 мкм й вище. Ступінь очищення досягає 96-99 %.

Принцип дії та конструкція центробіжного скрубера (рис. 2.11) подібні циклону (рис. 2.2): під впливом відцентрових сил, що виникають при обертанні газового потоку всередині апарату, частинки пилу відкидаються на спіраль скрубера, звідки змиваються рідиною, яка подається через сопла, розташовані по колу [79-83].

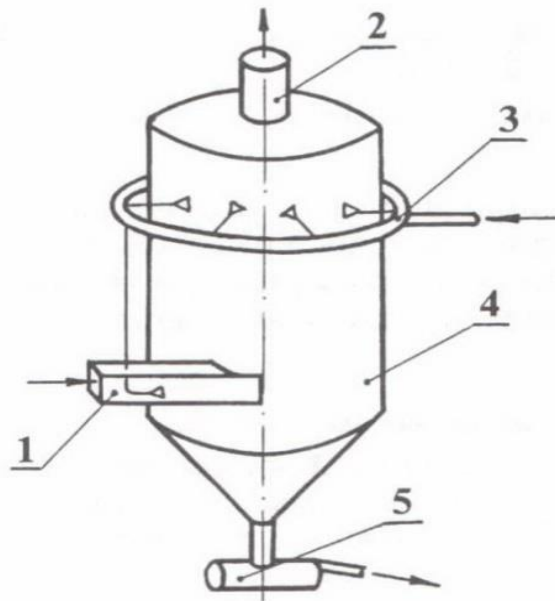


Рисунок 2.11 – Центробіжний скруббер: 1 – вхідний газохід; 2 – вихідний газохід; 3 – система подачі рідини; 4 – корпус; 5 – гідрозасув

До мокрих пиловловлювачів відносять також барботажно-пінні апарати (рис. 2.12) [84-87]. У таких апаратах процес барботажу складається з проходження газу крізь отвори в ґратах (решітках) та крізь шар рідини й піни і таким чином очищається від пилу шляхом осадження часток на внутрішній поверхні газових міхурів. При високій швидкості барботажний процес переходить в пінний, що ще підвищує ступень очищення. Сучасні барботажно-пінні апарати забезпечують ефективність очищення газу від дрібнодисперсного пилу на 95-96 % при питомих витратах води 0,4-0,5 л/м<sup>3</sup>. Практика експлуатації цих апаратів показує, що вони досить чутливі до нерівномірності подачі газу, що приводить до місцевого (локального) здуву плівки рідини. Крім того, ґрати апаратів схильні до засмічення. Подібні апарати зазвичай використовують при невеликих обсягах газу, що очищується від часток пилу розміром не менш 5 мкм.

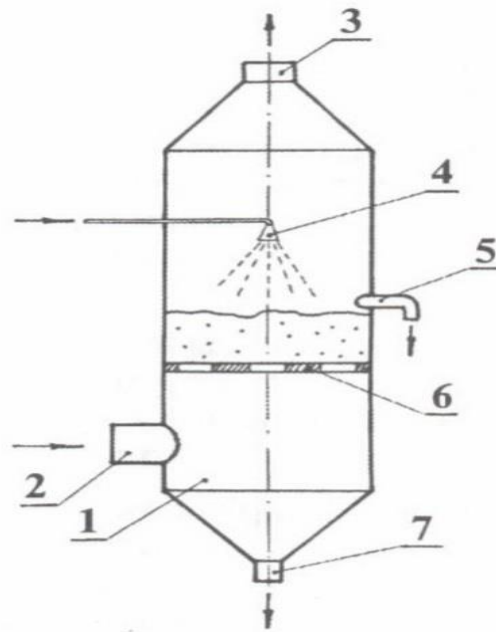


Рисунок 2.12 – Барботажно-пінний апарат: 1 – корпус; 2 – вхідний газохід; 3 – вихідний газохід; 4 – зрошувач; 5, 7 – відвід рідини; 6 – решітка (грати)

Ще один вид апарату мокрої газочистки – пиловловлювач вентиляційний мокрий (ПВМ) (рис. 2.13) ударно-інерційної дії, його застосовують при відсутності достатньої кількості чистої води [22, 84-85, 88-89]. Принцип дії ПВМ заснований на різкому повороті на  $180^{\circ}$  газового потоку, що направлений з великою швидкістю перпендикулярно до поверхні рідини. При цьому зважені в газі частинки, вдаряючись о поверхню рідини, поглинаються нею. Вода, разом з газовим потоком, що рухається, доходить до верхньої кромки перегородки апарату, а потім сепарується в особливому пристрої – краплеуловлювачі. Очищений в такий спосіб газ за допомогою вентилятора викидається назовні. Уловлений пил осідає на дні корпусу апарату і видаляється скребковим конвеєром. Ступінь очищення досягає 98-99 % при діаметрі частинок пилу до 10 мкм [90].

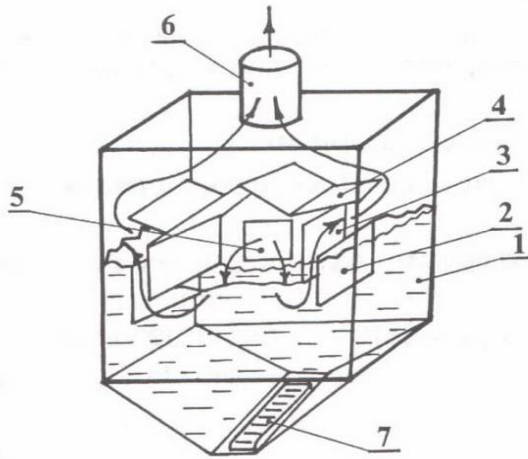


Рисунок 2.13 – ПВМ: 1 – корпус; 2, 3 – перегородки; 4 – краплеуловлювач; 5 – вхідний газохід; 6 – вихідний газохід; 7 – скребковий конвеєр

Роблячи висновок зауважимо, що відомі різні методи та апарати очищення пилогазових викидів від шкідливих забруднювачів, деякі з яких коротко висвітлені в даному підрозділі, але їх впровадження в технологію очищення залежать від їх параметрів, мети, що необхідно досягнути, енерго- та матеріаловитрат, інших специфічних причин, недоліків.

Але перш за все їх застосування спрямоване на охорону навколишнього природного середовища і збереження здоров'я працівників підприємств та мешканців прилеглих населених пунктів. Недотримання норм щодо предельно допустимої концентрації (ПДК) летючих речовин в атмосфері веде до ряду тяжких хвороб.

## 2.7 Висновки до другого розділу

1. Розвиток систем видобування вугілля та інших корисних копалин в Україні свідчить про необхідність забезпечення паралельного розвитку та напрацювання нових систем екологічної безпеки на гірничо-видобувних підприємствах, який на даний час в значній мірі відстає від темпів зростання видобування.

2. Найбільш доцільно використовувати фільтри для уловлювання часток пилу розміром менше 5 мкм, що забезпечить зменшення техногенного навантаження на атмосферне повітря.

Наведені висновки дозволяють сформулювати наступні задачі досліджень:

- запропонувати найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтового повітря при його викидах в атмосферне повітря;
- створити інформаційну модель поширення забруднення в атмосферному повітрі, яка б дозволяла прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій;
- теоретично дослідити та експериментально визначити розмір частинок основної маси шахтового пилу, з метою визначення його концентрації на межі санітарно-захисних зон шахт;
- розробити й експериментально перевірити комбіновану систему фільтраційного очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів.

## РОЗДІЛ 3

### ІНФОРМАЦІЙНО-РОЗРАХУНКОВІ СИСТЕМИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЙОГО МІНІМІЗАЦІЯ

#### 3.1. Стислий огляд методів розрахунку забруднення атмосферного повітря

Теорія дифузії домішок пилу та газів в атмосферному повітрі Землі (3.1) була створена Г.І. Тейлором та У. Шмідтом, які вивели наступне диференціальне рівняння для вирішення завдання розповсюдження забруднення в атмосферному повітрі [91]:

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{dC}{dx} = \frac{d}{dx} \left( K_x \frac{dC}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left( K_y \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left( K_z \frac{dC}{dz} \right) \quad (3.1)$$

де  $C$  – масова концентрація домішок;  $u$  – швидкість вітру;  $x, y, z$  – система прямокутних координат, у якій вісь  $X$  збігається зі спрямуванням вітру, а вісь  $Z$  – вертикальна;  $K_x, K_y, K_z$  – коефіцієнти турбулентної дифузії у спрямуванні вісей  $X, Y, Z$  відповідно.

Це рівняння виражає закон збереження маси та засновано на припущенні про аналогію процесів молекулярної та турбулентної дифузії [92]. Граничними умовами для рівняння (3.2) виявляються

$$\frac{C}{t} \leq 0 = 0; \quad \frac{C}{x^2} + y^2 + z^2 \rightarrow \infty = 0 \quad (3.2)$$

Пізніше О.Ф.Т. Робертс здобув рішення рівняння (3.3). Для стаціонарного крапкового джерела, розташованого в крапці з координатами  $(0, 0, h)$ , з постійними коефіцієнтами турбулентної дифузії та швидкості вітру [93], рішення має наступний вигляд:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{4x\sqrt{K_y K_z}} \exp\left(\frac{uy^2}{4K_y x}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{u(z-h)^2}{4K_z x}\right] + \exp\left[-\frac{u(z+h)^2}{4K_z x}\right] \right\} \quad (3.3)$$

Проте вже перші експериментальні дослідження атмосферної дифузії виявили якісні розходження з формулою (3.3). Причиною виявилась якісна

відмінність турбулентної дифузії від молекулярної. Коефіцієнти турбулентної дифузії не є постійними величинами, а залежать від розмірів хмари домішок, оскільки у кожен момент часу розсіювання хмари визначається в основному вихорами, спільномірними з ним по величині [83].

Для отримання математичного виразу, що задовільно узгоджується з даними експериментів, почали задавати функціональні залежності для коефіцієнтів турбулентної дифузії викладена теорія розсіювання домішок, заснована на статистичній теорії турбулентності [94].

Використовуючи теорему Г.І. Тейлора про поведінку часток в ізотропному турбулентному потоці та припускаючи, що розподіл концентрації в хмарі забруднювача співпадає з нормальним розподілом Гаусса, О.Г. Сеттон отримав наступне рішення (3.4) для стаціонарного точкового джерела [95]:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{\pi u x^{2-n} s_y s_z} \exp \left\{ - \left[ \frac{y^2}{s_y^2 x^{2-n}} + \frac{z^2}{s_z^2 x^{2-n}} \right] \right\} \quad (3.4)$$

де  $M$  – маса частинки;  $S_y, S_z$  – «віртуальні коефіцієнти дифузії» у напрямку координатних вісей;  $n$  – дорівнює 0 або 1, залежно від профілю швидкості вітру.

Шляхом інтегрування рівняння (3.4) по  $u$  О.Г.Сеттон отримав рівняння для лінійного джерела нескінченно або скінченної довжини.

Подальший розвиток теорії розсіювання йшов в основному двома напрямками: рішення, отримані з рівняння турбулентної дифузії зі змінними коефіцієнтами [83-85], та рішення, отримані на підставі статистичної теорії.

Згідно з першою теорією, М.Е. Берлянд [96] отримав рішення для крапкового джерела, розташованого на висоті  $H$ . Для приземної концентрації домішки з урахуванням часу усереднення це рішення має наступний вигляд (3.5):

$$C_{x,y,0} = \frac{M}{(1+m) K_1 \varphi_0 x^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[ \frac{u_1 H^{1+m}}{K_1 (1+m)^2 x} - \frac{y^2}{2\varphi_0^2 x^2} \right] \quad (3.5)$$



де  $K_1, u_1$  – значення коефіцієнта турбулентної дифузії та швидкості вітру на одиничній висоті;  $\varphi_0$  – дисперсія напрямку вітру;  $m = n(2-n)$ .

Д.Л. Лайхтман [97] запропонував описувати горизонтальне та вертикальне розсіювання різними рівняннями: горизонтальне – рівнянням Гаусса, вертикальне – полуемпіричним рівнянням турбулентної дифузії.

Пізніше Н. Л. Бизова [98] розробила методичний посібник з розрахунку розсіяння домішок, в основу якого лягла формула Д.Л. Лайхтмана.

Функціональні залежності [97-100] для коефіцієнтів турбулентної дифузії мають обмежену область використання [101]. З більш складними залежностями аналітичне рішення рівняння турбулентної дифузії (3.4) неможливе. Розвиток обчислювальної техніки дозволив отримувати чисельні рішення цього рівняння [102].

Теорія О. Г. Сеттона розвивалася як у роботах багатьох авторів [103]. Більшість з них використовує формулу для стаціонарного точкового джерела (3.6):

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (3.6)$$

де  $\delta_y, \delta_z$  – горизонтальна та вертикальна дисперсія розподілу домішок.

Для розрахунку та  $\delta_z$  використовують співвідношення  $\delta_y = Ax^a$ ;  $\delta_z = Bx^b$ , де  $A, a, B, b$  – коефіцієнти, що залежать від стійкості атмосфери та шорсткості земної поверхні та визначаються експериментально, їх значення приведені в роботах [104]. Формула (3.6) збігається з формулою О. Г. Сеттона (3.4) при

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{2}} x^{1-n/2}$$

Для розрахунку концентрації розповсюдження домішок від об'ємного джерела використовують припущення Холланда (3.7) – об'ємному джерелу приписуються початкові дисперсії  $\delta_{y0}$  та  $\delta_{z0}$ , створені «віртуальним» точковим джерелом:

$$C_{x,y,0} = \frac{M}{\pi(\sigma_{y0} + \sigma_y)(\sigma_{z0} + \sigma_z)u} \exp\left[-\frac{y^2}{2(\sigma_{y0} + \sigma_y)^2}\right] \exp\left[-\frac{h^2}{2(\sigma_{z0} + \sigma_z)^2}\right] \quad (3.7)$$

Розглядаючи цю проблему С. Е. Хайкіна [105] методом суперпозиції отримала формулу для розрахунку концентрації газових домішок (3.8), що виділяються з вертикальних джерел прямокутної форми:

$$C_{x,y,z} = \frac{0,125M}{lbu} \left( \operatorname{erf} \frac{y+0,5}{sx} - \operatorname{erf} \frac{y-0,5}{sx} \right) \left( \operatorname{erf} \frac{z-h}{sx} + \operatorname{erf} \frac{z+h}{sx} + \operatorname{erf} \frac{z+(h+b)}{sx} - \operatorname{erf} \frac{z-(h+b)}{sx} \right) \quad (3.8)$$

де  $l$  – довжина джерела;  $b$  – ширина джерела,  $h$  – відстань від поверхні;

$\operatorname{erf} x = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$  – інтеграл імовірності.

Формула для розрахунку максимальної приземної концентрації газових домішок при викиді холодної газоповітряної суміші з джерела круглої форми (3.9) має вигляд:

$$C_M = \frac{AM_n}{h^{4/3} 2\pi D \omega_0} \quad (3.9)$$

де  $n$  – коефіцієнт,  $n = 1-3$ ;  $D$  – діаметр труби;  $\omega_0$  – швидкість викиду газоповітряної суміші;  $A$  – коефіцієнт,  $A = 120-140$  в залежності від метеорологічних умов та кліматичних зон.

П. І. Андрєєв [106] отримав формулу (3.10) для максимальної концентрації, прийнявши у якості базисної формулу О.Г. Сеттона:

$$C'_M = \frac{30,6\varphi M \eta}{hD\omega_0} \quad (3.10)$$

Де  $\varphi$  – коефіцієнт, залежний від висоти труби,  $\varphi = 1,15-1,95$ ;  $\eta$  – коефіцієнт, залежний від часу відбору проб, для 30-хвилинного періоду, до якого відносяться максимальні разові концентрації,  $\eta=0,4$ .

Як бачимо, теорія дифузії домішок в атмосфері за відсутності перешкод розроблена достатньо повно. Незважаючи на різноманіття формул усі вони можуть бути отримані з одного диференціального рівняння (3.1) або приведені

до подібного вигляду, а результати розрахунків по ним співпадають за відповідного підбору експериментальних констант.

Споруди та технологічне обладнання, що розташовані на промисловому майданчику, деформують вітровий потік, змінюючи його швидкість та напрямок. В деформованому потоку розсіювання домішок підпорядковується іншим закономірностям та пов'язується з характеристиками їх розповсюдження (течії). Хмару (плин), що утворюється за твердим тілом, називають аеродинамічним слідом. Аеродинамічний слід поблизу тіла називають аеродинамічною тінню. У зоні аеродинамічної тіні утворюється циркуляційний рух, лінії току якого представляють замкнені криві.

В. М. Ельтерман [107] дослідним шляхом із залученням теорії розмірності отримав залежність для визначення максимальної концентрації шкідливих речовин під час викиду їх у зону аеродинамічної тіні споруди. В. В. Поляков запропонував розглядати зону аеродинамічної тіні споруд як замкнений об'єм, що має, за аналогією з приміщеннями, що вентилуються, повітрообмін з оточуючим середовищем, кратність якого визначається експериментально. Виділивши в аеродинамічній тіні дві області, що відрізняються напрямком руху вихрових потоків, він отримав залежності (3.11) для визначення середньої концентрації домішок в цих областях:

$$C_I = \frac{2M}{ulH} \text{ та } C_{II} = B \frac{M}{u} \frac{l}{H^3} \quad (3.11)$$

де  $B$  – експериментальний коефіцієнт, залежний від розмірів споруд.

С. І. Стріженов досліджував значення концентрацій шкідливих речовин у міжцеховому просторі, використавши наступні припущення: концентрація в міжцеховому просторі постійна щільно до межі перемішування; кут розкриття газового струменя складає 5 %; профіль швидкості потоку над будівлями співпадає з логарифмічним профілем плинину уздовж гладкої поверхні. Утворивши такими припущеннями баланс кількості домішок, що забруднюють міжцеховий простір, він одержав рішення (3.12):

$$C = \frac{14M}{slu} \quad (3.12)$$

де  $s$  – довжина джерела, м;  $l$  – відстань між будівлями.

Близькі до ідей С. І. Стріженова проблема отримала розвиток у роботах В. С. Нікітіна, В. Т. Самсонова [109]. Відмінність полягає в тому, що вони під час визначення кількості повітря, що провітрює зону аеродинамічної тіні будівлі використовували закономірності плоского вільного струменю, нижньою межею якого вважали лінію нульової швидкості, розташування якої довели експериментально. Запропоновані ними залежності (3.13, 3.14) мають наступний вигляду:

- для лінійних джерел:

$$C = \frac{nmK_hM}{xlu} \quad (3.13)$$

- для точкових джерел:

$$C = \frac{mK_hM}{u} \left[ \frac{H}{Pl} + \frac{42s}{(1,4l + x)^2} \right] \quad (3.14)$$

де  $n$  – коефіцієнт, величина якого залежить від типу споруд та зони, для яких визначається концентрація;  $m$ ,  $K_h$  – коефіцієнти занесення шкідливої речовини у циркуляційну зону, величина яких залежить від місця розташування та висоти джерел забруднення (викидів);  $p$  – величина, що характеризує розміри циркуляційної зони у напрямку руху вітру;  $s$  – величина, що характеризує зниження концентрації шкідливих речовин у точці, розташованій не на вісі джерела.

Робота В.П. Тітова та В.С. Тішкіна, що також базується на теорії О. Г. Сетона [108], досліджує проблематику для випадку знаходження джерела у зоні аеродинамічної тіні. Концентрація домішок у зоні аеродинамічного сліду споруд визначається як сума концентрацій від дійсного та фіктивного джерела (3.15), що нібито направляє домішки назустріч вітру:

$$C_{x,y,z} = \frac{M}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] + \\ + 2K \frac{\sigma_y\sigma_z}{\sigma_{1y}\sigma_{1z}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_{1y}^2}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_{1z}^2}\right) \end{array} \right\} \quad (3.15)$$

де  $K$  – коефіцієнт влучення домішок у зону аеродинамічного сліду;  $\delta_{50}$

$\sigma_{1y}$   $\sigma_{1z}$  – параметри інтенсивності процесу дифузії у зоні аеродинамічного сліду (поза межами зони зворотного плинну  $\sigma_{1y} = \sigma_y$ ;  $\sigma_{1z} = \sigma_z$ . Якщо  $K = 0$ , формула (3.14) співпадає з формулою (3.15).

І.С. Патток, та І.Ц.Р. Хант отримали аналітичне рішення рівняння дифузії у випадку відривного плинну при наступних передумовах: поза зоною аеродинамічного сліду плин виявляється потенціальним; у будь-якій точці смуги, обмеженої нульовою лінією току, концентрація однакова; коефіцієнт турбулентної дифузії постійний в кожному поперечному перетину потоку (3.16). Автори перейшли від фізичних координат  $x$ ,  $y$  до координат  $\psi$ ,  $\Phi$ :

$$\begin{aligned} u &= \frac{\partial\Phi}{\partial x} = -\frac{\partial\Psi}{\partial y} \\ v &= \frac{\partial\Phi}{\partial y} = \frac{\partial\Psi}{\partial x} \end{aligned} \quad (3.16)$$

де  $u$ ,  $v$  – швидкості потоку відповідно у напрямку  $x$  та  $y$ ;  $\psi$  – функція току;  $\Phi$  – потенціал швидкості.

Зворотній перехід до координат  $x$ ,  $y$  може бути виконаний, якщо відоме поле плинну у найближчому сліді, яке автори визначають за результатами чисельного рішення рівняння Лапласа (поза зоною відриву) та спираючись на експериментальні дані.

Далі, В.Т. Самсонов [109] припустив, що вплив повітряного потоку на концентрацію домішок можна врахувати, підібравши відповідну залежність для узагальненого коефіцієнта дифузії  $s$ . Задавши нормальний закон розподілу домішок зі змінною дисперсією, він отримав наступну формулу (3.17):

$$C = \frac{M}{0,5u\sqrt{0,5s_y^2x^2 + B_\varphi^2s_zx + L}} \varphi_0 \left( \frac{y}{\sqrt{0,5s_y^2x^2 + B_\varphi^2}} \right) \times \left\{ \varphi_0 \left( \frac{z-h}{\frac{1}{\sqrt{2}}s_zx} \right) [1 + A(z-h)] + \varphi_0 \left( \frac{z+h}{\frac{1}{\sqrt{2}}s_zx} \right) [1 + A(z+h)] \right\} \quad (3.17)$$

де  $B_\varphi$  – параметр, що характеризує горизонтальне коливання вісі факелу під час відхилення вітру від заданого напрямку;  $L$  – витрати повітря у викиду;  $A$

– комплексний множник;  $\varphi_0(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$

Проте побудовані вказаними дослідниками моделі мають загальний характер і вимагають уточнення стосовно конкретних умов. Крім того, виникає необхідність апробації даних моделей на основі існуючих даних екологічних і метеорологічних спостережень [110-111].

Таким чином, в даний час відомі декілька методів розрахунку концентрації домішок від крапкових та лінійних джерел викидів, розташованих поблизу будівель. Проте кожен з цих методів має обмежену область застосування. Актуальним завданням є створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел.

Фізична сторона даної проблеми пов'язана з аналізом емісії поширення і поглинання забруднюючих речовин. Задача про підвищення точності прогностичних оцінок характеристик забруднення територій, навколишнього середовища в цілому і зменшення навантажень на робітників шахтних комплексів і населення входить до числа найважливіших завдань екологічної безпеки. Їх вирішення потребує розв'язання вихідних рівнянь руху, що враховують поведінку частинок на всіх масштабах часів і відстаней. Такий підхід дозволяє провести послідовний аналіз наближених рівнянь, які потім використовуються для вирішення конкретних завдань. При цьому повне врахування проведених наближень дозволяє оцінити точність отриманих результатів.

### 3.2 Розв'язання завдання розрахунку концентрацій викидів шкідливих речовин, що містяться у викидах гірничо-видобувних підприємств

Максимальне значення приземної концентрації шкідливої речовини  $c_m$  (мг/м<sup>3</sup>) при викиді газоповітряної суміші з одиночного точкового джерела з круглим гирлом досягається за несприятливих метеорологічних умов на відстані  $x_m$  (м) від джерела і визначається за формулою (3.18) [112]:

$$C_M = \frac{AMFmnq}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (3.18)$$

де  $A$  – коефіцієнт, що залежить від температурної стратифікації атмосфери;  $M$  – маса шкідливої речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу, г/с;  $F$  – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;  $m$  та  $n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду;  $H$  – висота джерела викиду над рівнем землі (для наземних джерел при розрахунках приймається  $H = 2$ ), м;  $\eta$  – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості (в разі рівної або слабопересіченої місцевості з перепадом висот, що не перевищує 50 м на 1 км,  $\eta = 1$ );  $\Delta T$  – різниця між температурою газоповітряної суміші  $T_s$ , що викидається та температурою навколишнього атмосферного повітря  $T_g$ , °С;  $V_1$  (м<sup>3</sup>/с) – витрата газоповітряної суміші, що визначається формулою  $V_1 = \frac{\pi D^2}{4} \omega_0$ , де  $D$  – діаметр гирла джерела викиду, м;  $\omega_0$  – середня швидкість виходу газоповітряної суміші з гирла джерела викиду, м/с.

#### 3.2.1 Завдання про седиментацію

Розглянемо завдання про седиментацію – осідання частинок пилу в газі під дією гравітаційного поля. Для частинок великих розмірів ( $R > 100$  мкм) не встигає відбутися вихід на стаціонарний режим, і такі частинки падають в полі тяжіння зі зростаючою швидкістю, але зі зменшуваним прискоренням.

Частинки менших розмірів ( $R < 100$  мкм), встигають вийти на стаціонарний режим падіння, тобто на режим руху з постійною швидкістю. Для таких частинок рішення рівняння (3.19) дозволяє вивести рівняння дифузії в полі тяжіння – так зване рівняння Смолюховського:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{\partial n}{\partial z} + \frac{Mg}{k_B T} n \right\}. \quad (3.19)$$

Тут  $n = n(z)$  – кількість частинок в одиниці об'єму.

$$n(z) = \int h(v, z) dv.$$

Рівняння (3.20) є основним рівнянням для розв'язання поставлених завдань, воно дозволяє з необхідним ступенем точності визначати часову і просторову еволюцію систем частинок в зовнішніх полях. При цьому зручно переписати це рівняння в іншому вигляді:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + c \frac{\partial n}{\partial z} = \frac{k_B T}{b} \frac{\partial^2 n}{\partial z^2} + \frac{Mg}{b} \frac{\partial n}{\partial z}. \quad (3.20)$$

У такому вигляді в рівнянні явно виділені два доданки, які відповідають різним фізичним механізмам. Перший – це розмиття, за рахунок явища дифузії з характерним коефіцієнтом дифузії  $D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R}$ .

Другий доданок описує так зване «знесення» (або «дрейф»), тобто спрямований рух за рахунок зовнішньої сили зі сталою швидкістю

$$c = \frac{Mg}{b} = \frac{2}{9} \frac{\rho R^2 g}{\eta}.$$

Еволюція системи частинок являє собою конкуренцію цих двох механізмів. При цьому відносний внесок кожного з механізмів визначається, перш за все, розміром частинок. Так частки великих розмірів будуть з досить великою, але постійною швидкістю рухатися вниз, а частинки маленьких розмірів будуть повільно дифундувати в атмосферному повітрі [113].



### 3.2.2 Розв'язання типового завдання про еволюцію хмари пилу в полі тяжіння

Припустимо, що в початковий момент часу всі частинки знаходилися на деякій висоті  $z_0$ , тобто початкова умова має вигляд (3.21) [114-117]:

$$n(z, t = 0) = n_0 d \delta(z - z_0), \quad (3.21)$$

де  $d$  – товщина шару,  $n_0$  – значення щільності в початковий момент часу,  $\delta(z)$  – функція Дірака.

Як граничну умову вибираємо вимогу рівності нулю потоку частинок на границі (3.22)

$$j(z = 0, t) = D \frac{\partial n}{\partial z} + cn = 0. \quad (3.22)$$

Розв'язання цієї задачі за даними літературних джерел має вигляд (3.23):

$$n(z, t) = \frac{n_0 d}{2\sqrt{\pi D t}} \left\{ \exp\left(-\frac{(z - z_0)^2}{4Dt}\right) + \exp\left(-\frac{(z + z_0)^2}{4Dt}\right) \right\} \times \\ \times \exp\left[-\frac{c}{2D}\left(z - z_0 + \frac{ct}{2}\right)\right] + \frac{c \cdot n_0 d}{2D} \exp\left(-\frac{cz}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{z - z_0 - ct}{\sqrt{4Dt}}\right), \quad (3.23)$$

де  $\operatorname{erfc}(x)$  – інтеграл помилок.

Характерні залежності від висоти в певні моменти часу представлені на рис. 3.1

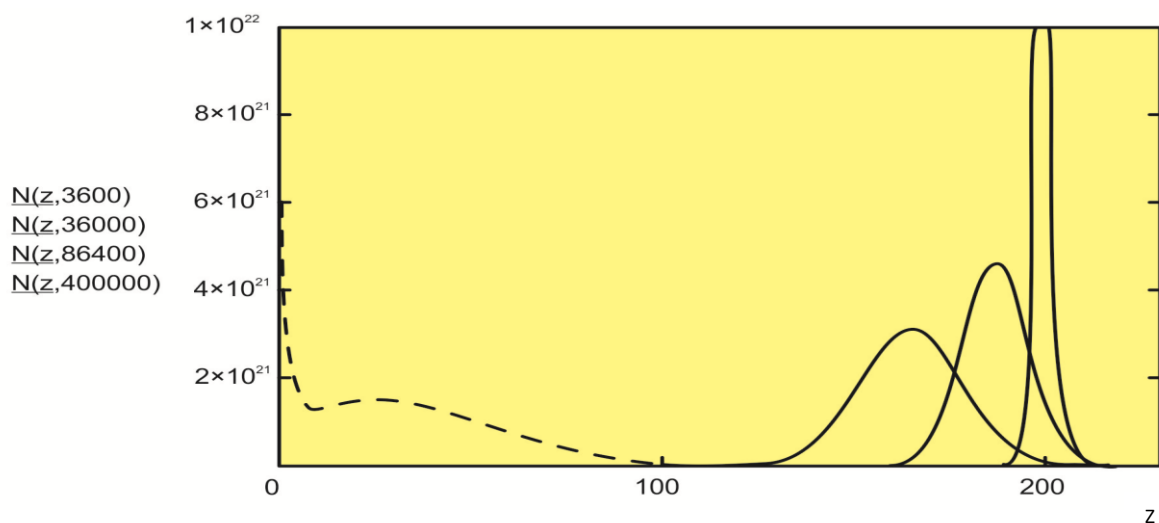


Рисунок 3.1 – Приклад просторового розподілення пилу в різні моменти часу

В результаті розв'язання поставленого завдання були визначені кількісні межі режимів еволюції пилу в полі тяжіння. Були отримані рівняння, які дають опис еволюції частинок пилу довільних розмірів.

Основним висновком є той факт, що фільтрацію забрудненої пилом шахтної атмосфери при викидах її в повітря, необхідно проводити в два етапи. Якщо на першому проводити очищення від частинок пилу великих розмірів, то на другому – від дрібних, тим більше, що саме ці частки являють собою найбільшу небезпеку для дихальних шляхів робітників та населення взагалі.

### **3.2.3 Інформаційна модель поширення забруднення атмосферного повітря пильовими викидами з гірничо-видобувних підприємств**

Основним фактором екологічного впливу пилових викидів на навколишнє природне середовище для аероекологічної оцінки вважають формування хмари забрудненого повітря [117-123].

Наведемо комплекс математичних розрахунків для різних видів екологічного впливу вищевказаних гірничо-видобувних підприємств на атмосферне повітря, які надають можливість оцінити межі поширення екологічної надзвичайної ситуації у навколишньому природному середовищі.

Аналітичну модель, яка описує просторовий розподіл концентрації небезпечних домішок, як для здоров'я людини, так й для навколишнього природного середовища речовин у нестационарному та у стаціонарному випадках розвитку можливих надзвичайних ситуацій, що пов'язані з викидом небезпечних речовин, можна розробити на основі загальної теорії механіки суцільних середовищ [124–28].

Небезпечні забруднюючі викиди разом з повітрям створюють двокомпонентну пилову систему. Концентрація пилу, що забруднює атмосферне повітря, визначається її щільністю  $\rho_s(\vec{r}, t)$  (кг/м<sup>3</sup>) у двокомпонентній системі. Сумарна щільність  $\rho_\Sigma$  такої двокомпонентної системи дорівнює

$$\begin{aligned} \rho_{\Sigma}(\vec{r}, t) &= \rho_3(\vec{r}, t) \cdot \varphi + \rho_n(\vec{r}, t) \cdot (1 - \varphi), \text{ за умовою} \\ \delta_{\Sigma} &= \delta_3 + \delta_n = 1 \end{aligned} \quad (3.24)$$

де  $\rho_n$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – мольна частка речовини у двокомпонентній системі, ч. од.

Забруднення атмосферного повітря у різних точках простору у різні моменти часу цілком задається функцією  $\rho_3(\vec{r}, t)$ . Задача полягала в отриманні повної системи рівнянь, вирішуючи яку можна знайти  $\rho_3(\vec{r}, t)$  при заданих граничних умовах та початковому розподілі концентрації пилу в атмосферному повітрі  $\rho_3(\vec{r}, t = 0)$  [128].

У двокомпонентній системі пилових викидів забруднення рухається зі швидкістю  $\vec{v}_3(\vec{r}, t)$ , а повітря – зі швидкістю  $\vec{v}_n(\vec{r}, t)$ . Поряд зі швидкостями  $\vec{v}_3$  та  $\vec{v}_n$  введемо також конвективну (загальну) швидкість  $\vec{V}_k(\vec{r}, t)$  пилу рівністю

$$\rho_{\Sigma} \vec{V}_k = \rho_3 \vec{v}_3 + \rho_n \vec{v}_n. \quad (3.25)$$

Якщо пил перебуває у спокої, то  $\vec{V}_k = 0$ . Тоді згідно з (3.25) маємо

$$0 = \rho_3 \vec{v}_{3,\partial} + \rho_n \vec{v}_{n,\partial}, \quad (3.26)$$

де  $\vec{v}_{3,\partial}$  та  $\vec{v}_{n,\partial}$  – відповідно швидкості руху забруднюючих викидів разом з повітрям, які у цілому перебувають у стані спокою, тому що  $\vec{V}_k = 0$ .

Зміна концентрацій компонентів у двокомпонентній системі, яка перебуває у стані спокою називається дифузією. Дифузія обумовлена зустрічним рухом компонент з відповідними швидкостями  $\vec{v}_{3,\partial}$  та  $\vec{v}_{n,\partial}$ , які не дорівнюють нулю.

Явище дифузії забруднюючої речовини визначається вектором дифузії

$$\vec{i}_3 = \rho_3 \vec{v}_{3.d}, \quad (3.27)$$

який, згідно з (3.27), дає кількість забруднюючих речовин, що переноситься дифузією в одиницю часу крізь одиницю поверхні, перпендикулярну вектору  $\vec{v}_{3.d}$ .

Аналогічно вектор дифузії пилу у повітрі визначається рівністю

$$\vec{i}_n = \rho_n \vec{v}_{n.d}. \quad (3.28)$$

Згідно (3.26) – (3.28) виконується рівняння

$$\vec{i}_3 = -\vec{i}_n. \quad (3.29)$$

Виділимо у швидкостях руху забруднюючих речовин  $\vec{v}_3$  та повітря  $\vec{v}_n$  конвективну швидкість руху пилу  $\vec{V}_\kappa$  та швидкості дифузійного руху рівностями

$$\vec{v}_3 = \vec{V}_\kappa + \vec{v}_{3.d}, \quad (3.30)$$

$$\vec{v}_n = \vec{V}_\kappa + \vec{v}_{n.d}. \quad (3.31)$$

Відзначимо, що при цьому визначенні підстановки (3.30) та (3.31) у праву частину рівності (3.25) з урахуванням (3.24) дає ліву частину рівності (3.25).

Перейдемо до отримання повної системи рівнянь, яка описує зміну концентрації забруднюючих речовин у просторі та часі. Розпочнемо з закону збереження маси забруднюючих речовин. З цією метою розглянемо деякий

замкнений об'єм  $V$ , який обмежує замкнена поверхня  $f$ . Маса забруднюючих речовин в об'ємі  $V$ , дорівнює

$$M_3 = \int_V \rho_3(\vec{r}, t) d^3r \quad (3.32)$$

Зміна маси забруднюючих речовин у замкненому об'ємі  $V$  за одиницю часу  $t$  дорівнює

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho_3 d^3r = - \oint_f \rho_3 \vec{v}_3 d\vec{f} + \int_V Q_3 d^3r \quad (3.33)$$

Перший інтеграл по замкненій поверхні  $f$  у правій частині рівняння (3.33) дає зміну маси забруднюючих речовин в об'ємі  $V$  за одиницю часу за рахунок його руху крізь замкнену поверхню  $f$ . Другий інтеграл у правій частині рівняння (3.33) дає зміну маси забруднювача в об'ємі  $V$  за одиницю часу за рахунок наявності у ньому джерел та викидів забруднювача, що задаються функцією  $Q_3$ .

Джерела, зв'язані із зовнішніми викидами забруднюючих речовин в атмосферне повітря, можуть бути описані функцією  $Q_{дж}(\vec{r}, t)$ . Функція  $Q_{дж}(\vec{r}, t)$  задає масу забруднюючих речовин, яку викидають зовнішні джерела за одиницю часу в одиницю об'єму атмосферного повітря, який містить точку  $\vec{r}$ .

Викиди, подібно джерелам, можна описати функцією  $Q_{см}(\vec{r}, t)$ .

$$Q_3(\vec{r}, t) = Q_{дж}(\vec{r}, t) + Q_{см}(\vec{r}, t) \quad (3.34)$$

Виходячи з теореми Остроградського-Гауса, інтеграл по поверхні, який міститься у правій частині рівняння (3.33), перетворюємо в інтеграл по об'єму.

Окрім цього вважаємо, що об'єм  $V$  не змінюється з часом. Це дозволяє диференціювати по часу підінтегральний вираз у лівій частині рівняння (3.33).

Отже, отримаємо

$$\int_V \frac{\partial \rho_3}{\partial t} d^3r = - \int_V \operatorname{div} \rho_3 \vec{v}_3 d^3r + \int_V Q_3 d^3r. \quad (3.35)$$

Враховуючи, що рівність (3.35) виконується для будь-якого об'єму  $V$ , одержимо

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} = - \operatorname{div} \rho_3 \vec{v}_3 + Q_3. \quad (3.36)$$

З урахуванням рівностей (3.27) та (3.30) запишемо рівність (3.36) у вигляді

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \operatorname{div} \rho_3 \vec{V}_\kappa - \operatorname{div} \vec{i}_3 + Q_3. \quad (3.37)$$

Закон збереження маси для повітря співпадає з (3.37) з точністю до позначення

$$\frac{\partial \rho_n}{\partial t} = - \operatorname{div} \rho_n \vec{V}_\kappa - \operatorname{div} \vec{i}_n + Q_n. \quad (3.38)$$

Рух пилу описується рівнянням Нав'є-Стокса

$$\rho_\Sigma \left\{ \frac{\partial \vec{V}_\kappa}{\partial t} + (\vec{V}_\kappa \Delta) \vec{V}_\kappa \right\} = - \Delta p + \eta \Delta \vec{V}_\kappa + \left( \xi + \frac{\eta}{3} \right) \Delta \operatorname{div} \vec{V}_\kappa + \vec{F}_{cm}. \quad (3.39)$$

де  $\eta$  та  $\xi$  – відповідно коефіцієнти першої та другої в'язкості, які передбачаються заданими умовами, Па · с;

$P$  – тиск у двокомпонентному газі, Па;

$\vec{F}_{cm}$  – стороння сила, яка передбачається заданою (сторонньою силою може бути, наприклад, сила тяжіння), Н.

Закон збереження енергії пилових викидів записується у вигляді [112]

$$\rho_{\Sigma} T \left\{ \frac{\partial S}{\partial t} + (\vec{V}_{\kappa} \Delta) S \right\} = \sigma_{ik} \frac{\partial V_{ki}}{\partial x_k} - \operatorname{div} \vec{q} + \mu \operatorname{div} \vec{i}_z. \quad (3.40)$$

де  $T$  – температура пилових викидів, К;

$S$  – ентропія пилових викидів, Дж/(кг · К).

Тензор в'язкості  $\sigma_{ik}$ , вектор потоку тепла  $\vec{q}$  та хімічний потенціал  $\mu$  пилових викидів передбачаються, як вже заданими.

Вираз для вектора дифузії  $\vec{i}_z$  записується з простих феноменологічних міркувань. Будемо вважати, що в горизонтальній площині, яка співпадає з площиною  $x, y$ , якості атмосферного повітря не залежать від напрямку, але відмінні у вертикальному напрямку, який співпадає з віссю  $z$ . Тоді компоненти вектору дифузії  $\vec{i}_z$  можна записати у вигляді

$$i_{zx} = -D_{\parallel} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - K_T \frac{\partial T}{\partial x} - K_P \frac{\partial P}{\partial x}; \quad (3.41)$$

$$i_{zy} = -D_{\parallel} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - K_T \frac{\partial T}{\partial y} - K_P \frac{\partial P}{\partial y}; \quad (3.42)$$

$$i_{zz} = -D_{\perp} \rho_{\Sigma} \frac{\partial}{\partial z} \frac{\rho_z}{\rho_{\Sigma}} - \chi_T \frac{\partial T}{\partial z} - \chi_P \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (3.43)$$

Перші доданки у правих частинах рівностей (3.41) – (3.43) описують дифузію, що обумовлена залежністю  $\rho_z$  від  $\vec{r}$ , другі – термодифузію, треті – бародифузію. Коефіцієнти  $D_{\parallel}, D_{\perp}, K_T, \chi_T, K_P, \chi_P$  передбачаються заданими. Коефіцієнти дифузії  $D_{\parallel}$  та  $D_{\perp}$  – позитивні, а коефіцієнти термодифузії  $K_T$  і  $\chi_T$  та коефіцієнти бародифузії  $K_P$  і  $\chi_P$  можуть бути як позитивні, так і негативні.

Аналогічно записується вектор дифузії  $\vec{i}_n$ . При цьому повинно виконуватись рівняння (3.29).

Система трьох скалярних рівнянь (3.37), (3.38), (3.40) та одного векторного рівняння (3.39) є повна система рівнянь відносно чотирьох функцій  $\rho_z(\vec{r}, t)$ ,  $\rho_n(\vec{r}, t)$ ,  $P(\vec{r}, t)$ ,  $\vec{V}_k(\vec{r}, t)$ .

При цьому ентропія  $S$  та температура  $T$  задаються рівняннями стану, згідно з якими  $S = S(\rho_z, \rho_n, P)$  та  $T = T(\rho_z, \rho_n, P)$ . Рівняння стану визначаються якостями пилових викидів, що розглядаються, та передбачаються заданими.

При заданих початкових та граничних умовах рішення системи рівнянь (3.37) – (3.40) з урахуванням рівностей (3.41) – (3.43) дозволяє знайти концентрацію забруднюючих речовин  $\rho_z(\vec{r}, t)$  у будь-якій точці простору та у будь-який момент часу. Зміна концентрації забруднюючих речовин в просторі та часі згідно з системою рівнянь (3.37) – (3.40) та рівностей (3.41) – (3.43) визначається конвективним переносом забруднюючих речовин зі швидкістю  $\vec{V}_k$ , а також дифузією, термодифузією та бародифузією.

Рішення цієї задачі у теперішній час неможливо отримати. Розвиток сучасних інформаційних технологій дозволяє одержати чисельне рішення для функції  $\rho_z(\vec{r}, t)$  [124], а саме для кожного конкретного випадку. Безумовні переваги мають аналітичні рішення задачі щодо поширення забруднюючих речовин, які можна отримати в умовах наявності низки припущень, які суттєво спрощують рівняння (3.37) – (3.43).

При зробленій низці припущень аналітичні рішення задачі дають не тільки точне рішення, вони також дозволяють якісно описати поширення забруднюючих речовин у загальних випадках навіть, коли зроблені припущення не реалізуються. Така низка аналітичних рішень наводиться нижче.

Перше рішення виходить з рівностей (3.41) – (3.43), які дозволяють запропонувати термодифузійний спосіб розподілу забруднюючих речовин. Нехай у початковий момент часу  $t = 0$  у заданої області простору концентрація



забруднюючих речовин буде однакова у всіх точках простору, тобто  $\rho_3$  не залежить від координати  $\vec{r}$ . Крім того, пилові викиди знаходяться у спокої, тобто  $\vec{V}_k = 0$ .

При цьому виникають задачі або зібрати забруднюючі речовини у заданій області простору, де вони будуть утилізовані, або очистити цю область простору від забруднюючих речовин. Рішення цих задач випливає з рівностей (3.41) – (3.43).

Задля спрощення будемо вважати, що  $D_{||} = D_{\perp}$ ,  $K_T = \chi_T$  та тиск пилових викидів постійний у всіх точках простору, який розглядається. Тоді з рівностей (3.41) – (3.43) випливає, що

$$\vec{i}_3 = D_{||} \rho_{\Sigma} \Delta \frac{\rho_3}{\rho_{\Sigma}} - K_T \Delta T. \quad (3.44)$$

Якщо у заданій області  $\rho_3(t=0) = \text{const}$ , то перший доданок у правій частині рівності (3.44) дорівнює нулю. Помістимо у просторі тверде тіло, яке нагріто до певної температури, що перевищує температуру пилових викидів. Тоді у просторі виникне градієнт температури, який згідно з (3.44), приведе до руху забруднюючих речовини у просторі. Якщо температуру твердого тіла підтримувати постійною, то після деякого часу настане стаціонарний стан, при якому  $\vec{i}_3$  обернеться на нуль.

Згідно з (3.44) стаціонарний стан при заданому градієнті температури можливий тільки за умови, що є градієнт забруднюючої речовини. При цьому розподіл концентрації забруднюючої речовини  $\rho_3(\vec{r})$ , що виникає у просторі, випливає з (3.44), в якому слід  $\vec{i}_3$  покласти рівним нулю. Отже, маємо

$$D_{||} \rho_{\Sigma} \Delta \frac{\rho_3}{\rho_{\Sigma}} = -K_T \Delta T. \quad (3.45)$$

Якщо забруднююча речовина така, що  $K_T > 0$ , то область навкруги нагрітого твердого тіла очиститься від забруднюючої речовини. Якщо  $K_T < 0$ , то забруднююча речовина буде сконцентрована навкруги нагрітого твердого тіла, де можна його дезактивувати. При дезактивації рівність (3.45) буде порушуватися. У цих умовах нові порції забруднюючої речовини будуть підходити до нагрітого твердого тіла, поблизу якого можливо продовжувати його утилізацію.

Для термодифузного розподілу забруднюючої речовини можливо також використати охолоджене тверде тіло, або задану область простору, в якій температура нижче, ніж температура пилових викидів. У цьому випадку, коли  $K_T > 0$ , забруднюючі речовини зберуться навколо охолодженої області простору, а при  $K_T < 0$ , охолоджена область очиститься від забруднюючих речовин.

Потрібно, безумовно, враховувати, що градієнт температури може привести до конвективного руху пилових викидів зі швидкістю  $\vec{V}_k$ . Наявність конвективного руху можливо врахувати, але це вже інша задача.

Розглянемо рішення інших задач, виходячи з рівняння (3.37). На жаль, у загальному випадку рівняння (3.37) не можна вирішувати окремо від решти рівнянь повної системи, тому що поруч з  $\rho_3$  воно містить також швидкість  $\vec{V}_k$ , повну щільність  $\rho_\Sigma$ , тиск  $P$  та температуру  $T$ .

А якщо зробити низку припущень, які спрощують задачу, то рівняння (3.37) можна вирішувати, не враховуючи решту рівнянь повної системи. Перелічимо ці припущення:

1. Будемо вважати, що внесок термодифузії та бародифузії у зміну концентрації забруднюючої речовини  $\rho_3(\vec{r}, t)$  малий. Таке припущення виправдане, якщо температура та тиск постійні або досить слабо змінюються у просторі. Таке припущення виправдане також у випадку, коли  $K_T$ ,  $\chi^T$  та  $K_P$ ,  $\chi^P$

є малими. У цих випадках другий та третій доданки у правій частині рівності (3.41) – (3.43) будуть відсутні.

2. Не будемо враховувати залежність від координати  $\vec{r}$  сумарної щільності  $\rho_\Sigma$ .

Перше та друге припущення дозволяють записати рівності (3.41) – (3.43) у вигляді:

$$i_{zx} = -D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial x}; \quad i_{zy} = -D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial y}. \quad (3.46)$$

3. Будемо вважати відомою швидкість конвективного руху  $\vec{V}_k$ , що міститься в (3.37). Зокрема, це може бути, швидкість вітру, що вимірюється незалежно.

Якщо підставити (3.46) у (3.37) та врахувати (3.34), то одержимо відносно шуканої концентрації забруднюючої речовини  $\rho_3(\vec{r}, t)$  рівняння

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} + \rho_3 \operatorname{div} \vec{V}_k + \vec{V}_k \nabla \rho_3 - \frac{\partial}{\partial x} D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_{II} \frac{\partial \rho_3}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} D_{\perp} \frac{\partial \rho_3}{\partial z} = Q_{cm}(\vec{r}, t) + Q_{дж}(\vec{r}, t). \quad (3.47)$$

При отриманні рівняння (3.47) враховано, що

$$\operatorname{div} \rho_3 \vec{V}_k = \rho_3 \operatorname{div} \vec{V}_k + \vec{V}_k \Delta \rho_3, \quad (3.48)$$

щоб виділити внесок залежності швидкості  $\vec{V}_k$  від  $\vec{r}$  у зміну функції  $\rho_3(\vec{r}, t)$ . Цей внесок дає другий доданок у лівій частині рівняння (3.44).

Виходячи з рівняння (3.47), вирішимо низку задач, які реалізуються в практиці.

Розглянемо випадок, коли вітер відсутній, тобто  $\vec{V}_k = 0$ . Відсутні також джерела забруднення, тобто  $Q_{дж} = 0$ . Будемо вважати, що коефіцієнти вертикальної та горизонтальної дифузії рівні, тобто  $D_{||} = D_{\perp}$  та не залежать від координати. Будемо вважати також, що викиди забруднюючих речовин лінійно залежать від концентрації, тобто

$$Q_{cm} = -\sigma_{cm}\rho_3(\vec{r}, t), \quad (3.49)$$

де коефіцієнт пропорційності  $\sigma_{cm}$  передбачається постійним та позитивним.

Зроблені припущення дозволяють записати рівняння (3.47) у вигляді

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} = D_{||} \Delta \rho_3 - \sigma_{cm} \rho_3. \quad (3.50)$$

Рівняння (3.47) повинно бути доповнено початковими умовами, які задають розподіл концентрації забруднювача у початковий момент часу  $t = 0$ . Такий початковий розподіл задається функцією

$$\rho_3(\vec{r}, t = 0) = \rho_{0_3}(\vec{r}). \quad (3.51)$$

Рівняння (3.50) слід також доповнити граничними умовами на функцію  $\rho_3(\vec{r}, t)$ .

Будемо вважати, що граничні умови відсутні для спрощення. Це передбачення виправдане, якщо об'єм пилу, який досліджується, знаходиться досить далеко від границь, які впливають на зміни концентрації забруднюючих речовин у часі та у просторі.

Рішення рівняння (3.50) з початковою умовою (3.51) можна отримати, якщо функцію  $\rho_3(\vec{r}, t)$  подати у вигляді інтегралу Фур'є, тобто

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_\kappa(t) e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3K. \quad (3.52)$$

Підставлення (3.52) у (3.50) дає

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{d\rho_\kappa}{dt} + D_{II}K^2\rho_\kappa + \sigma_{cm}\rho_\kappa \right\} e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3K. \quad (3.53)$$

З рівняння (3.53) випливає рівність

$$\frac{d\rho_\kappa}{dt} + D_{II}K^2\rho_\kappa + \sigma_{cm}\rho_\kappa = 0. \quad (3.54)$$

Рішення рівняння (3.54) запишемо у вигляді

$$\rho_\kappa(t) = \rho_0(\vec{K}) e^{-D_{II}K^2t} e^{-\sigma_{cm}t}, \quad (3.55)$$

де  $\rho_0(\vec{K})$  вже не залежить від часу, але є функція вектору  $\vec{K}$ .

Підставляння рішення (3.55) у (3.52) дає

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_0(\vec{K}) e^{-D_{II}K^2t} e^{-\sigma_{cm}t} e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3K. \quad (3.56)$$

Функція (3.56), очевидно, є рішенням рівняння (3.50). Необхідно підібрати таку функцію  $\rho_0(\vec{K})$ , щоб задовольнялась початкова умова (3.51). Для цього задамо у (3.56)  $t = 0$ . Після чого отримаємо

$$\rho_3(\vec{r}, t = 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_0(\vec{K}) e^{i\vec{K}\vec{r}} d^3K. \quad (3.57)$$

Згідно (3.51) та (3.57) функція  $\rho(\vec{K})$  є функцією Фур'є – вигляд розподілення забруднюючих речовин у початковий момент часу  $t = 0$ . Виходячи зі зворотного перетворення Фур'є, одержимо

$$\rho(\vec{K}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-i\vec{K}\vec{r}'} d^3 r'. \quad (3.58)$$

Підставляючи (3.52) у (3.56), отримаємо рішення, яке задовольняє рівнянню (3.50) та початковій умові (3.51)

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{1}{(2\pi)^3} e^{-\sigma_{cm} t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-D_{\Pi} K^2 t} e^{i\vec{K}(\vec{r}-\vec{r}')} d^3 K d^3 r'. \quad (3.59)$$

Виконуючи у (3.59) інтегрування по  $\vec{K}$ , остаточно отримаємо

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{e^{-\sigma_{cm} t}}{8(\pi D t)^{3/2}} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_{03}(\vec{r}') e^{-\frac{(\vec{r}-\vec{r}')^2}{4D_{\Pi} t}} d^3 r'. \quad (3.60)$$

Поставлену задачу розв'язує результат (3.60). З рішення (3.60) виходе, що концентрація забруднюючих речовин експоненціально зменшується. За час  $t_{cm} = \frac{1}{\sigma_{cm}}$  концентрація у кожній точці зменшується в  $e$  раз.

Подальше дослідження рішення (3.60) зручно провести в моделі простої початкової умови, коли в початковий момент часу маса забруднюючих речовин  $M_0$  знаходиться у малому об'ємі, який міститься на початку координат. Така початкова умова апроксимується дельта-функцією з множником  $M_0$ , тобто

$$\rho_{03}(\vec{r}') = M_0 \delta(\vec{r}'). \quad (3.61)$$

Підставляння (3.61) у (3.60) дає

$$\rho_3(\vec{r}, t) = \frac{M_0}{8(\pi D_{II} t)^{3/2}} e^{-\sigma_{cm} t} e^{-\frac{r^2}{4D_{II} t}} \quad (3.62)$$

Характерна область згідно розв'язку (3.62) в певний фіксований момент часу  $t$ , в якій буде помітна кількість забруднюючих речовин, що лишаються, визначається розміром  $L_3$ , при якому показник другої експоненти порядку одиниці, тобто

$$\frac{L_3^2}{4D_{II} t} \approx 1 \quad \text{або} \quad L_3 \approx 2\sqrt{D_{II} t} \quad (3.63)$$

При цьому у всіх точках простору зменшення концентрації забруднюючих речовин за рахунок розпаду визначається множителем  $e^{-\sigma_{cm} t}$ .

Рівняння (3.46) з заданими початковими та граничними умовами дозволяє прогнозувати розподіл концентрації забруднюючих речовин у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій. Низка рішень рівняння (3.46) з урахуванням деяких спрощуючих передумов наведена у публікаціях [125-129].

Установили, що кожен з методів розрахунку концентрації домішок від точкових та лінійних джерел викидів при різних умовах експлуатації має обмежену область застосування. Створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел може стати актуальним завданням. Але доцільно враховувати кількісні межі режимів еволюції частинок забруднюючих речовин в полі тяжіння, а отримані рівняння, що дають опис еволюції частинок забруднюючих речовин довільних розмірів, стають максимально універсальними.

### 3.3 Висновки до третього розділу

1. Проаналізовані методи розрахунку концентрації домішок від точкових та лінійних джерел викидів при різних умовах експлуатації. Проте кожен з цих методів має обмежену область застосування. Виявили, що актуальним

завданням є створення універсального методу розрахунку, єдиного для різних типів джерел.

2. Визначені кількісні межі режимів еволюції пилу в полі тяжіння. Отримані рівняння, які дають опис еволюції частинок пилу довільних розмірів.

3. Доведено, що фільтрацію забрудненої пилом шахтної атмосфери при викидах її в повітря, необхідно проводити в два етапи. На першому проводити очищення від частинок пилу великих розмірів, на другому – від дрібних, тим більше, що саме ці частки являють собою найбільшу небезпеку для дихальних шляхів.

4. Створена інформаційна модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів з заданими початковими та граничними умовами, що дозволяє прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для всіляких можливих ситуацій.



## РОЗДІЛ 4

### ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ФІЛЬТРАЦІЇ ШАХТОВИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ГІРНИЧО-ВИДОБУВНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

#### **4.1 Очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтних комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації**

Існує проблема, що виражається в підвищенні ризику глобального забруднення атмосфери, шахтні регіони вносять в цей несприятливий для всієї Землі процес свою левову частку.

Ця тема досить широко обговорюється в різних літературних джерелах і відбита в багатьох державних нормативних актах [20-21, 23, 117].

Найважливішою частиною зазначеної проблеми є розв'язання завдання по досягненню максимально високого ступеня очищення екологічно небезпечних вентиляційні викидів шахтних комплексів.

Розв'язання такого роду завдань лежить у площині створення більш ефективних фільтруючих систем у порівнянні з нині застосовуваними в гірничій промисловості.

У підрозділі пропонуємо новий високоефективний небар'єрний принцип очищення забрудненого повітря від дрібнодисперсних часток, задля чого представимо методику розрахунків течії пилогазової суміші, приведемо приклад розробленої нами системи фільтрації, заснованої на активному способі очищення.

Найчастіше застосовувані в шахтній промисловості апарати очищення вентиляційних і технологічних викидів в атмосферу в залежності від методу очищення можна умовно поділити на декілька категорій: пиловловлювачі (сухого інерційного очищення, мокрого очищення, фільтрації, електростатичного осадження); тумановловлювачі (низько- і високошвидкісні); апарати для вловлювання пару й газів (абсорбційні, хемосорбційні, адсорбційні,

термічні й термokatалітичні нейтралізатори, біохімічні реактори); апарати багатоступінчастого очищення (уловлювачі пилу й газів, уловлювачі туманів і твердих домішок, багатоступінчасті пиловловлювачі), що докладно було досліджено у другому розділі цієї роботи. До основних вимог, що пред'являються до апаратів пило- та газоочищення, відносять їх високу експлуатаційну надійність і достатню ефективність очищення. Чим вище ступінь очищення суміші і чим дрібніші стають частки, що вловлюються апаратами, тим більшими виявляються питомі капітальні витрати на їх спорудження, утримання та експлуатацію.

Нині застосовувані фільтри в основному орієнтовані на очищення від грубодисперсних домішок і недостатньо забезпечують очищення від дрібнодисперсних пилових часток.

Ми ж пропонуємо новий високоефективний небар'єрний принцип очищення газової суміші шахтових викидів від дрібнодисперсних часток, що базується на активному способі очищення [113]. Фільтри з активним способом очищення відносять до механічних («сухих») пиловловлювачів, що використовують принцип роботи, оснований на дії відцентрових сил.

Дрібні часточки твердої речовини можна умовно розділити за розмірами на грубодисперсні та мікрогетерогенні. Механічне очищення повітря грубодисперсних домішок не викликає труднощів, на відміну від очищення мікрогетерогенних домішок, яке ускладнюється тим, що аеродинамічні властивості таких домішок якісно відрізняються від аеродинамічних властивостей грубодисперсних домішок. Ці властивості визначаються числом Рейнольдса.

Прийmemo, що часточка твердої речовини має сферичну форму. Для сфери відома залежність  $C_x = f(Re)$ , побудована на основі формул Стокса, Озеєна й виведена за результатами проведених експериментальних досліджень (рис. 3). Тут аеродинамічний коефіцієнт  $C_x$  характеризує аеродинамічну силу, яка діє на часточку в потоці рідини або газу.

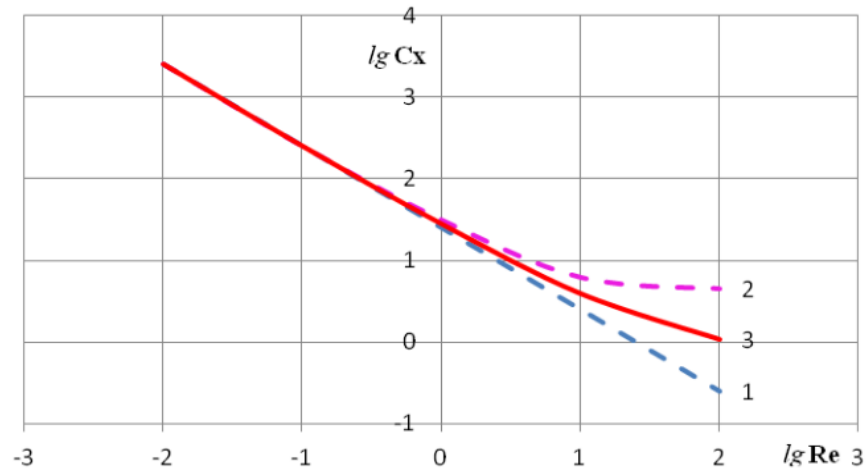


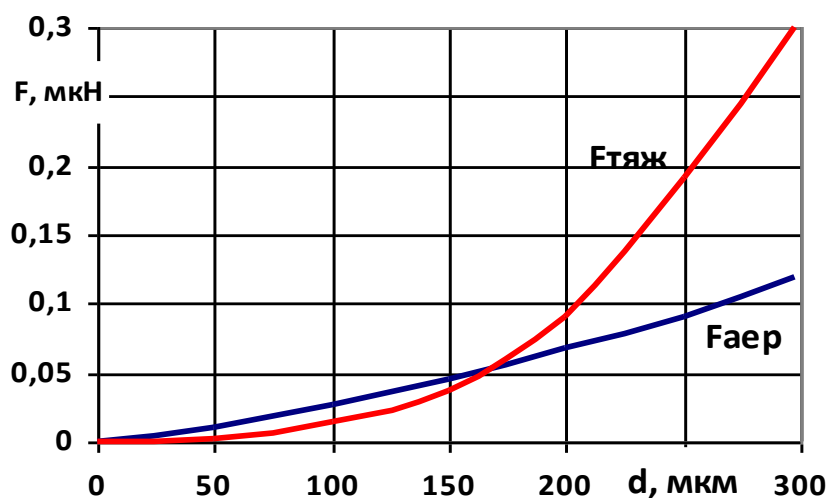
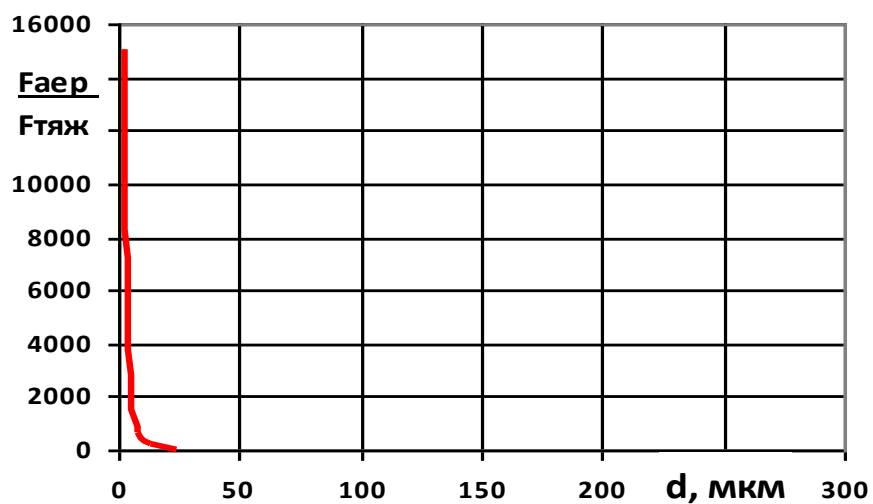
Рисунок 4.1. – Залежність  $\lg C_x = f(\lg Re)$ :

1 – за Стоксом; 2 – за Озеєном; 3 – за результатами проведених експериментів

Число Рейнольдса визначається за формулою:  $Re = \frac{c \cdot d}{\nu}$ , де  $c$  – характерна швидкість,  $d$  – характерний розмір,  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

За незмінних характеристик швидкості, наприклад,  $c = 1$  м/с, і при коефіцієнті кінематичної в'язкості для повітря  $\nu = 1,46 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/с, число Рейнольдса визначається тільки характерним розміром часточок твердої речовини. Отже, залежність  $C_x = f(Re)$  можна розглядати, як залежність  $C_x = f(d)$ .

За зменшення розміру часточок до певної величини, при якій  $Re \approx 1$ ,  $C_x$  збільшується повільно, і його величина не перевищує декількох одиниць. Подальше зменшення розміру часточок після величини, при якій  $Re \approx 1$ ,  $C_x$  збільшується інтенсивно, і його величина досягає кількох сотень або тисяч одиниць. При цьому сила тяжіння постійно зменшується. Отже, треба очікувати, що існує така величина розміру часточок, за якою аеродинамічна сила перевищує силу тяжіння, що відображено на рис. 4 (тут взято щільність матеріалу часточок 2200 кг/м<sup>3</sup>). На рис. 5 показано, що для часточок розміром менше 10 мкм аеродинамічні сили в кілька разів перевищують силу тяжіння; для часточок розміром 1 мкм аеродинамічні сили перевищують силу тяжіння вже в 15 тисяч разів.

Рисунок 4.2. – Залежність  $F = f(d)$ Рисунок 4.3. Залежність  $F_{аер} / F_{тяж} = f(d)$ 

Виходячи з цього, візьмемо до уваги, що порошина – це часточка, для якої аеродинамічна сила за величиною більше сили тяжіння. Грубодисперсні домішки, для яких сила тяжіння перевищує аеродинамічну силу, легко відділяються від потоку повітря, тому їх взаємодію з потоком розглядати не будемо.

Таким чином, ефективний очисник повітря повинен створювати умови, за яких на порошину діє керована сила заданої величини й напрямку, що забезпечує відділення порошину від потоку повітря до її виходу з очисника. Крім того, важливо, щоб ця сила діяла постійно, навіть після завершення процесу відділення порошину від потоку. Це необхідно для надійного її утримання в накопичувачі пилу. Такі умови можуть бути створені в установках типу центрифуги, де на часточки пилу діє відцентрова сила, величину якої можна забезпечити такою, що в десятки тисяч разів перевищує силу тяжіння.

При розрахунках руху в повітряному потоці твердих часток пилу можна зробити допущення, що вони не впливають на характеристики потоку. Таке припущення є виправданим для розглянутих умов, коли концентрація пилу є невеликою. Для визначення траєкторій руху твердих часток використовувалася методика, основана на інтегруванні за часом рівнянь руху Ньютона з урахуванням усіх діючих сил (аеродинамічний опір, сила тяжіння, відцентрова й коріолісова сили тощо).

Одним з найпростіших фільтрів із динамічним способом очищення повітря є кільцевий канал, створений двома співвісними трубами різного діаметра. На вході в кільцевий канал установлені лопатки, які жорстко скріплені з обома трубами й обертаються разом з ними навколо осі труб. Це забезпечує закрутку вхідного в очисник потоку, що містить пил. У результаті на пил діє відцентрова сила, що направляє порошину до зовнішньої стінки кільцевого каналу й утримує їх там після торкання. Нами досліджено кілька розрахункових схем динамічних очисників повітря від пилу. Установлено, що на ступінь очищення впливає діаметр кільцевого каналу, частота його обертання, осьова довжина очисника й розміри порошин.

З результатів розрахунків випливає, що запропоноване обладнання має ступінь очищення, характерний для фільтрів бар'єрного типу, причому не становить складнощів подальше поліпшення їх очисних характеристик.

Необхідно відзначити, що найбільш повне очищення екологічно небезпечних домішок викидів вентиляційних систем шахтових комплексів є

можливим тільки у разі використання комбінацій декількох типів фільтрів з розрахунком повної системи очищення для кожного окремого комплексу. У наступних розділах буде запропонована методика проектування вищезгаданої системи й алгоритм її послідовного включення для особи, що ухвалює рішення.

Таким чином, слід зробити кілька зауважень і привести первинний алгоритм для ухвалення рішення по установці фільтруючих елементів у вентиляційних виходах.

Перший етап. Аналіз вмісту пилу в шахтних виробках, з яких відбувається вентиляційне очищення. Встановлення кількісного вмісту дрібнодисперсної фракції пилу та грубодисперсної.

Другий етап. Проектування фільтруючої системи, виходячи з отриманих даних по складу пилу в шахтних виробках.

Третій етап. Розробка режиму підключення фільтруючого обладнання та його розміщення.

Виходячи з того, що система шахта-вентиляційний відвід-атмосфера є відкритою системою, що видозмінюється, з нестабільними зв'язками із-за розвитку виробок, фільтрація повинна здійснюватися із заздалегідь запланованим «запасом міцності».

Забезпечення необхідного і достатнього рівня екологічної профілактики по вентиляційних викидах можливо тільки при веденні постійного моніторингу складу внутришахтної атмосфери та спостереження за адекватністю технічної системи очищення.

Кроки щодо проведення даних заходів будуть розглянуті в наступному підрозділі.

## 4.2 Технічне обслуговування систем спостереження за екологічно небезпечним впливом шахтних викидів в навколишнє природне середовище

Проблема забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних підприємств шахтного комплексу України – є однією з найважливіших для вчених відповідних галузей [103].

При цьому важливою і досить складною науковою задачею [104] виявляється створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

Задля безперервної роботи автоматичної системи спостереження за викидами проводився розрахунок кількості працівників, які мають її обслуговувати. Аналогічні завдання розглядаються у класичній теорії ймовірностей [115].

Розглянемо автоматичний пристрій спостереження за викидами, який за нормальних умов роботи не потребує втручання людини, однак будь-якої миті може вийти з ладу та потребувати обслуговування або заміни. Час, який необхідно витратити на це, будемо розглядати як випадкову величину з показовим розподілом. Іншими словами, пристрій спостереження за викидами (ПСВ) може бути охарактеризований двома постійними величинами  $\eta$  та  $\mu$ , які будуть визначатися наступним чином. Якщо у момент  $t$  ПСВ працює, то ймовірність того, що він буде потребувати обслуговування раніше моменту  $t + h$ , дорівнює  $\eta h$  плюс доданки, якими можна нехтувати в межі при  $h \rightarrow 0$ . Навпаки, якщо у момент  $t$  ПСВ обслуговується, то ймовірність того, що обслуговування закінчиться раніше, ніж в момент  $t + h$ , і ПСВ почне працювати, дорівнює  $\mu h + o(h)$ . Для надійного ПСВ  $\eta$  буде відносно мале, а  $\mu$  відносно велике. Співвідношення  $\eta/\mu$  є коефіцієнтом обслуговування.

Припустимо, що є  $m$  ПСВ з однаковими параметрами  $\eta$  та  $\mu$ , що обслуговуються одним працівником. Якщо ПСВ вийшов з ладу, він обслуговується негайно, якщо тільки працівник не ремонтує в цей час інший

ПСВ. У цьому випадку утворюється черга. Ми говоритимемо, що система знаходиться у стані  $E_n$ , якщо не працюють  $n$  ПСВ. При  $1 \leq n \leq m$  це буде означати, що один ПСВ обслуговується, а  $n-1$  стоять в черзі; у стані  $E_0$  всі ПСВ працюють, і працівник, який проводить обслуговування відпочиває. Всі  $m$  ПСВ припускаються такими, що працюють незалежно один від одного.

Перехід  $E_n \rightarrow E_{n+1}$  виникає при наявності поломки одного з  $m - n$  ПСВ, які працюють, тоді як перехід  $E_n \rightarrow E_{n-1}$  здійснюється, якщо один з ПСВ, що розладнався, повернувся в робочий стан. Отже, ми маємо типовий процес розмноження і загибелі [103] з коефіцієнтами (4.1)

$$\begin{aligned} \eta_0 &= m\eta, \\ \eta_n &= (m - n)\eta, \\ \mu_0 &= 0, \\ \mu_n &= \mu, \quad (0 < n < m) \end{aligned} \tag{4.1}$$

Розв'язавши задачу з даними умовами ми отримаємо необхідну кількість персоналу, який має обслуговувати ПСВ для безперервної роботи системи в цілому.

Враховуючи можливі певні труднощі діагностики контурів системи спостереження за викидами (надалі – системі) [103, 104], а також те, що усунення відмови повинно виконуватись у найкоротший термін, також запропоновано математичне обґрунтування оптимальних дій для ліквідації відмовлення в системі.

Ліквідація відмов одиничних елементів системи на об'єктах з підвищеним рівнем небезпеки виконується в так званий «блоковий» спосіб. Елемент, який вийшов з ладу, не ремонтують, а підключають замість нього інший – працездатний. Але, навіть за такого спрощення, процедура стає досить важкою за наявності великої кількості дублюючих елементів з різним ступенем досяжності та різною ймовірністю відмови.

Таким чином, у разі виявлення відмови вузла системи, який включає  $n$  елементів, виникає задача про виявлення саме того елемента, який призвів до відмови, з мінімальними витратами часу. До системи можуть входити елементи



різних типів: відкритого розміщення, з ускладненою досяжністю та важкодосяжні.

Для розв'язання поставленої задачі необхідно для кожного  $i$ -го елемента вузла системи ( $I = 1, 2, 3, \dots, n$ ) знати величини наступних двох основних параметрів; витрати часу  $t_i$  на його заміну та ймовірність  $P_i$  його відмови.

Величини зазначених двох параметрів залежать від цілого ряду факторів: від конструкції елемента, ступеня його зносу, матеріалів та ін.

Вибір елемента, з якого необхідно починати обстеження, визначається зіставленням відношень  $t_i / t_j$  з  $P_i / P_j$  ( $I, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Однак, як буде показано нижче, такий спрощений підхід припустимий тільки для випадку, коли всі  $P_i \ll 1$ .

Методику вибору елемента, який доцільно обстежувати першим, було продемонстровано на прикладі з двома елементами.

Виникнення відмови елемента вузла системи назвемо подією  $A$  (17). З простих міркувань випливає, що подія  $A$  є сумою трьох подій:

$$A = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.2)$$

Події  $C_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ), які входять у рівняння (4.3), можна записати у вигляді:

$$C_1 = B_1 \bar{B}_2 \quad (4.3)$$

– відмова першого елемента (подія  $B_1$ ) і відсутність відмови другого елемента (подія  $\bar{B}_2$ ) (4.4);

$$C_2 = \bar{B}_1 B_2 \quad (4.4)$$

– відсутність відмови першого елемента (подія  $\bar{B}_1$ ) і наявність відмови другого елемента (подія  $B_2$ ) (4.5);

$$C_3 = B_1 B_2 \quad (4.5)$$

– наявність відмови обох елементів.

Відповідно до теореми множення ймовірностей  $P(AC_k)$  (4.6) добуток будь-яких двох подій  $A$  і  $C_k$  маємо:

$$P(AC_k) = P(A) P(C_k/A) = P(C_k) P(A/C_k), \quad (4.6)$$

де  $P(A)$  – ймовірність події  $A$ , а  $P(C_k/A)$  ймовірність події  $C_k$  за умови, що подія  $A$  відбулася. Зі співвідношення (4.7) випливає, що шукані ймовірності:

$$P(C_k/A) = \frac{P(C_k)P(A/C_k)}{P(A)}. \quad (4.7)$$

Відповідно до рівності (4.8)

$$P(AC_k) = 1. \quad (4.8)$$

З огляду на те, що наявність відмови одного елемента не залежить від стану другого елемента, зі співвідношення (4.8) одержимо:

$$P(A) = P_1(1 - P_2) + (1 - P_1)P_2 + P_1P_2, \quad (4.9)$$

де  $P_i = P(B_i)$  – відома ймовірність відмови  $i$ -го елемента.

Підставляючи (4.7) у (4.8), з огляду на (4.9) та визначення ймовірності добутку двох незалежних подій, одержимо три вираження (4.10, 4.11, 4.12) необхідних для рішення поставленої задачі:

1. Ймовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з нештатною ситуацією у першому елементному блоці:

$$P(C_1/A) = \frac{P_1(1 - P_2)}{P_1 + P_2 - P_1P_2}. \quad (4.10)$$

2. Ймовірність того, що виявлена відмова системи обумовлена нештатною ситуацією у другому елементному блоці:

$$P(C_2/A) = \frac{P_2(1-P_1)}{P_1 + P_2 - P_1P_2} \quad (4.11)$$

3. Ймовірність того, що виявлена відмова системи відбулася в зв'язку з відмовою в обох елементних блоках:

$$P(C_2/A) = \frac{P_1P_2}{P_1 + P_2 - P_1P_2} \quad (4.12)$$

Оптимальна черговість обстеження елементів визначається (4.13) зіставленням відносини

$$\frac{P(C_1/A)}{P(C_2/A)} = \frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)} \quad (4.13)$$

і відносини  $t_1/t_2$ . При

$$\frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)} > \frac{t_1}{t_2} \quad (4.14)$$

впливає, що у першу чергу необхідно обстежувати перший блок. При

$$\frac{P_1(1-P_2)}{P_2(1-P_1)} < \frac{t_1}{t_2} \quad (4.15)$$

обстеження доцільно починати з другого блоку.

Якщо при обстеженні системи буде виявлена відмова елемента, то ймовірність того, що одночасно зазнає нештатної ситуації й інший елемент, дається вираженням (4.12). Виходячи з отриманого по формулі (4.12) чисельного значення та аналізу існуючого стану, варто прийняти одне з двох рішень:

1. Після усунення відмови одного елемента стежити за подальшим розвитком подій.

2. Починати обстежувати інші елементи.

Використовуючи поданий вище розрахунок можливо обслуговувати систему оптимально за критерієм витрат часу.

Впровадження вищенаведеної методики дозволяє провести розрахунки кількості працівників, які мають обслуговувати автоматичну систему спостереження за викидами для її безперервної роботи та при обслуговуванні вибрати з ряду потенційно можливих відмов пріоритетний напрямок для їх ліквідації.

### **4.3 Висновки до четвертого розділу**

1. Запропоновано спосіб очищення екологічно небезпечних вентиляційних викидів шахтних комплексів шляхом створення комбінованих систем фільтрації. Досліджено кілька розрахункових схем динамічних очисників повітря від пилу. Установлено, що на ступінь очищення впливає діаметр кільцевого каналу, частота його обертання, осьова довжина очисника й розміри порошин. З результатів розрахунків витікає, що запропоноване обладнання має ступінь очищення, характерну для фільтрів бар'єрного типу, причому не представляється складним подальше поліпшення їх очисних характеристик.

Необхідно відзначити, що найбільш повне очищення екологічно небезпечних домішок викидів вентиляційні систем шахтних комплексів можливо тільки при використанні комбінацій декількох типів фільтрів з

розрахунком повної системи очищення для кожного окремого комплексу. Приведено первинний алгоритм для ухвалення рішення по установці фільтруючих елементів у вентиляційних виходах, що складається з трьох етапів, а фільтрація повинна здійснюватися із заздалегідь запланованим «запасом міцності».

Забезпечення необхідного і достатнього рівня екологічної профілактики по вентиляційних викидах можливо тільки при веденні постійного моніторингу складу внутришахтного атмосферного повітря та спостереження за адекватністю технічної системи очищення.

2. Впровадження методики вибору елементу, який доцільно обстежувати першим при технічному обслуговуванні систем спостереження за екологічно небезпечним впливом шахтних викидів в навколишнє природне середовище дозволяє також провести розрахунки кількості працівників, які мають обслуговувати таку систему для забезпечення її безперервної роботи та при обслуговуванні вибрати з ряду потенційно можливих відмов пріоритетний напрямок для їх ліквідації.

При цьому вирішена важлива і досить складна наукова задача створення надійних систем спостереження за викидами та забезпечення їх безаварійної роботи.

## РОЗДІЛ 5

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІНІМІЗАЦІЇ ВМІСТУ ПИЛУ В ШАХТОВИХ ВИКИДАХ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

#### 5.1 Результати експериментальних досліджень

В умовах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова» були проведені дослідження вмісту та дисперсного складу шахтного пилу, що перебуває в повітрі на різних ділянках організації шахтних викидів повітря в атмосферу. В таблиці 5.1 наведені вентиляційні виробітки із зафіксованими під час експериментів максимальною і мінімальною запиленістю повітря.

Таблиця 5.1 – Вентиляційні виробітки із зафіксованими під час експериментів максимальною і мінімальною запиленістю повітря

| № фільтра | Назва вентиляційні виробітки   | Запиленість повітря<br>мг/м <sup>3</sup> |
|-----------|--|--|
| 220       | Клітьовий ствол, верхній посадочний майданчик                            | 12,9                                     |
| 218       | Конвеєрний ходок 4 західної розвантажувальної лави пласта                | 48,7                                     |
| 221       | Вентиляційний ходок 4 західної розвантажувальної лави пласта             | 116,4                                    |
| 211       | Нижній посадочний майданчик вентиляційного нахильного квершлага на пласт | 32,5                                     |

З наведених даних витікає, що вміст пилу в повітрі, яке викидається в атмосферу чималий, що потребує створення ефективної системи уловлення пилу задля забезпечення дотримання екологічних норм.

Отримані результати підтверджуються попередніми дослідженнями інших дослідників (табл. 5.1) [121].

Таблиця 5.2 – Значення середніх концентрацій у повітрі гірничих видобутків.

| Шахта                  | Середня концентрація,<br>мг/м <sup>3</sup> | Стандартне геометричне<br>відхилення, % |
|------------------------|--|---|
| Красноармійськ вугілля | 317  | 5                                       |
| Добропілля вугілля     | 305  | 3                                       |
| Павлоград вугілля      | 286  | 4                                       |
| Селідов вугілля        | 212  | 4                                       |
| Укрзахід вугілля       | 164  | 2                                       |

Дані для побудови функції розподілу мас часток пилу за діаметрами у шахтних викидах наведених у таблиці 3.1, наведені у Додатку 3.

На основі експериментальних даних, наведених у таблицях 3.1-3.4 (Додаток 3), розраховувались вихідні дані для побудови експериментальної функції часток пилу за розмірами. В таблиці 3.3 (Додатк 3) наведено приклад розрахунку і вибору параметрів для побудови експериментальної функції часток пилу за розмірами.

Для розрахунку параметра  $t$ , необхідно знати величину медіани  $\delta_{50}$ . Із таблиці (Додатк 3) видно, що медіана  $\delta_{50}$  ( $AMAD$ ) маси пилу, що знаходиться в діапазоні  $6,48 - 4,32$  мкм (середнє значення  $5,4$  мкм). Розрахунок точного значення медіани  $\delta_{50}$  ( $AMAD$ ) виконується виходячи з визначення медіани розподілу маси часток: маса  $m_1$  часток пилу розміром менше  $\delta_{50}$  дорівнює масі  $m_2$  часток пилу розміром більше  $\delta_{50}$ . Маса пилу  $m$  дорівнює площі фігури, обмеженої зверху функцією  $\varphi(\delta)$ , знизу віссю абсцис, справа і зліва ординатами  $\delta_{min}$ ,  $\delta_{max}$ .

$$m_1 = \int_{\delta_{max}}^{\delta_{50}} \varphi(\delta) d\delta, m_2 = \int_{\delta_{min}}^{\delta_{50}} \varphi(\delta) d\delta. \quad (5.1)$$

У таблиці 5.3 наведено приклад методики розрахунку параметрів  $t$ ,  $F(t)$ ,  $\sigma$ ,  $\delta_{50}$ ,  $\Delta i$ ,  $\bar{\delta}$  для побудови експериментальної функції розподілу часток пилу за розмірами.

Таблиця 5.3 – Розрахунок даних для побудови функції розподілу маси пилу за діаметрами нижнього посадочного майданчику вентиляційного нахиленого квершлага на пласт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова»

| $N_i$<br>$\Delta i$ | Діаметр частки, мкм | $(\delta - \bar{\delta})$ | $(\delta - \bar{\delta})^2$ | $\varphi(\delta)$ | $t = \frac{\lg \delta - \lg \delta_{50}}{\lg \sigma}$ | $\frac{F(t)}{D(t)}$ , % |
|---------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|---|-------------------------|
| 1                   | 0,216               | 10,50                     | 110,3                       | 0,00009           | -2,950  | 0                       |
| 2                   | 1,08                | 9,638                     | 92,89                       | 0,0113            | -1,538  | 6,2                     |
| 3                   | 2,16                | 8,558                     | 73,24                       | 0,0708            | -0,929  | 17,6                    |
| 4                   | 4,32                | 6,398                     | 40,94                       | 0,2238            | -0,321  | 37,4                    |
| 5                   | 6,48                | 4,238                     | 17,96                       | 0,3589            | 0,035   | 51,4                    |
| 6                   | 8,64                | 2,078                     | 4,318                       | 0,0958            | 0,287   | 60,9                    |
| 7                   | 10,8                | 0,082                     | 0,007                       | 0,0561            | 0,483   | 68,6                    |
| 8                   | 12,9                | 2,182                     | 4,761                       | 0,0545            | 0,639   | 73,9                    |
| 9                   | 17,3                | 6,582                     | 43,32                       | 0,0654            | 0,897   | 81,5                    |
| 10                  | 21,6                | 10,88                     | 118,4                       | 0,0374            | 1,092   | 86,2                    |
| 11                  | 32,4                | 21,68                     | 470,1                       | 0,0253            | 1,510   | 92,6                    |

Гістограма розподілення по розмірах часток пилу у шахтних викидах ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова», які досліджувалися, відображені на рисунках 5.1 – 5.4.



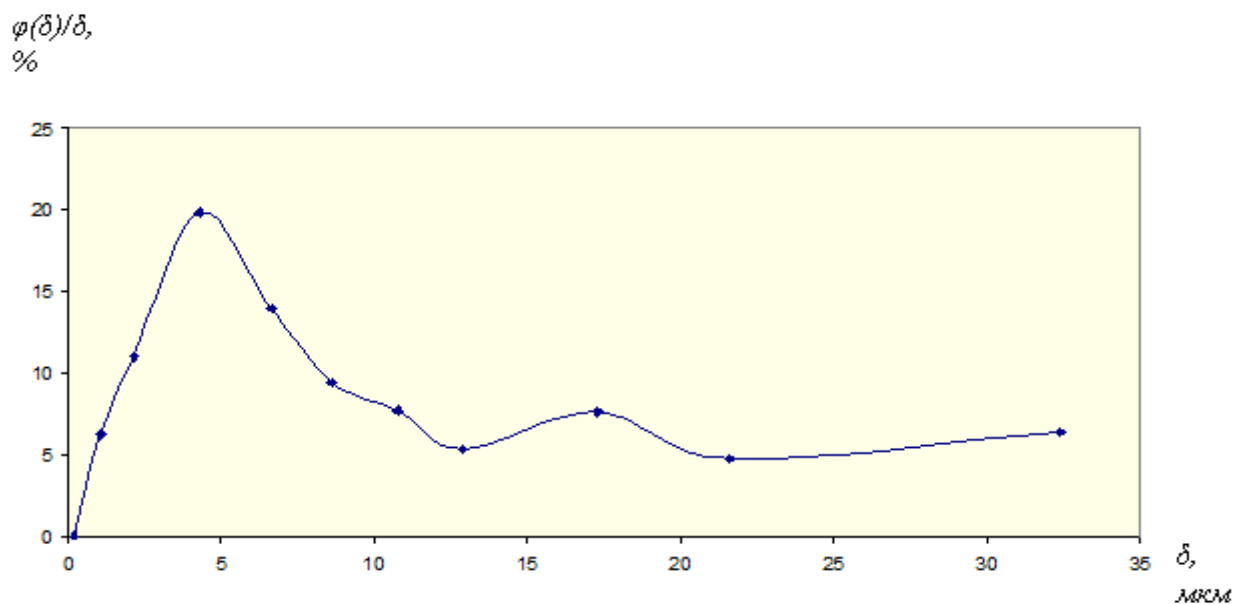


Рисунок 5.1 – Гістограма розподілення по розмірах часток пилу у районі нижнього посадочного майданчику вентиляційного нахилоного квершлага на пласт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова»».

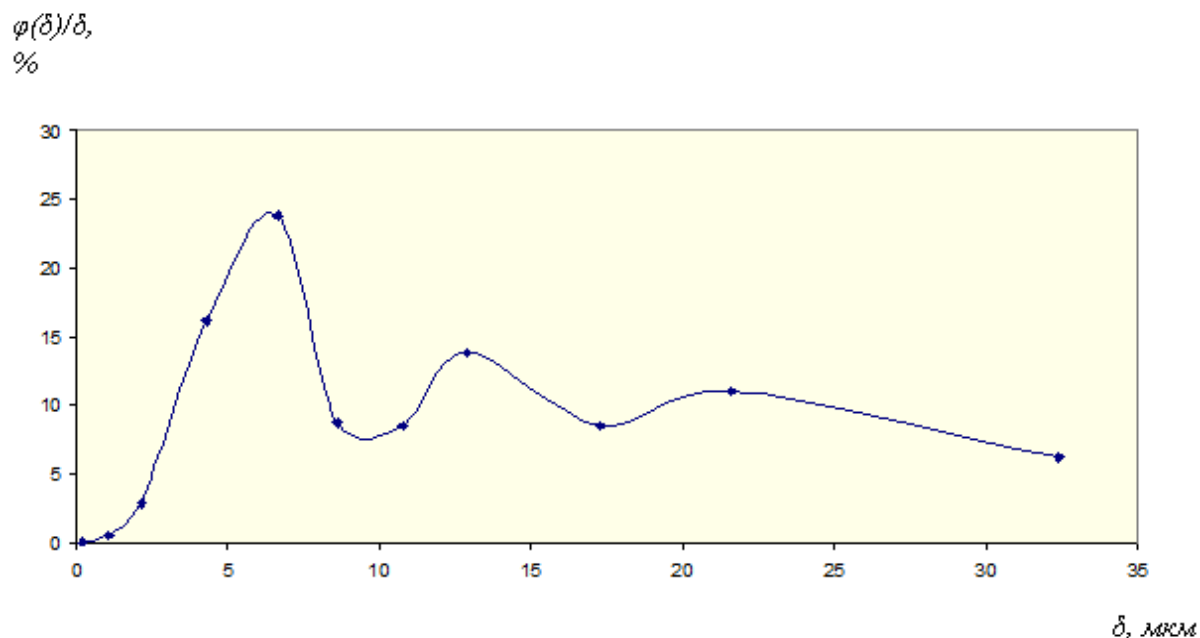


Рисунок 5.2 – Гістограма розподілення по розмірах часток пилу у посадочному майданчику клітьового стволу ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова»».

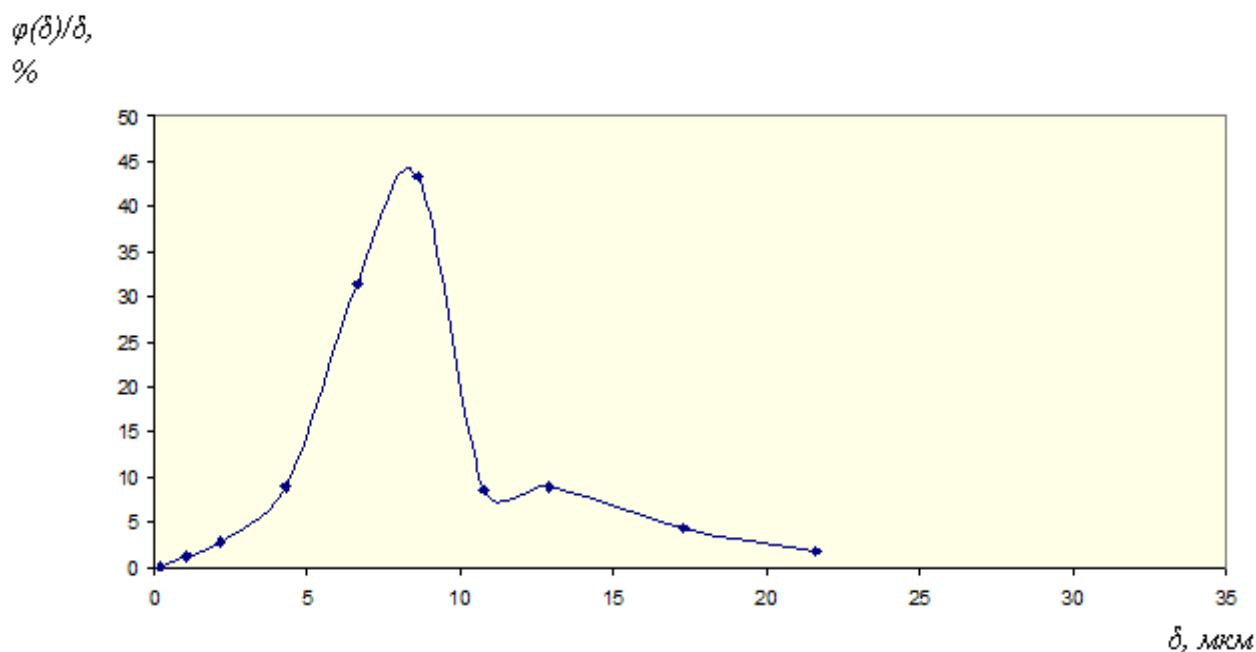


Рисунок 5.3 – Гістограма розподілення по розмірах часток пилу у районі конвеєрного ходка 4 західної розвантажувальної лави пласта ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова»».

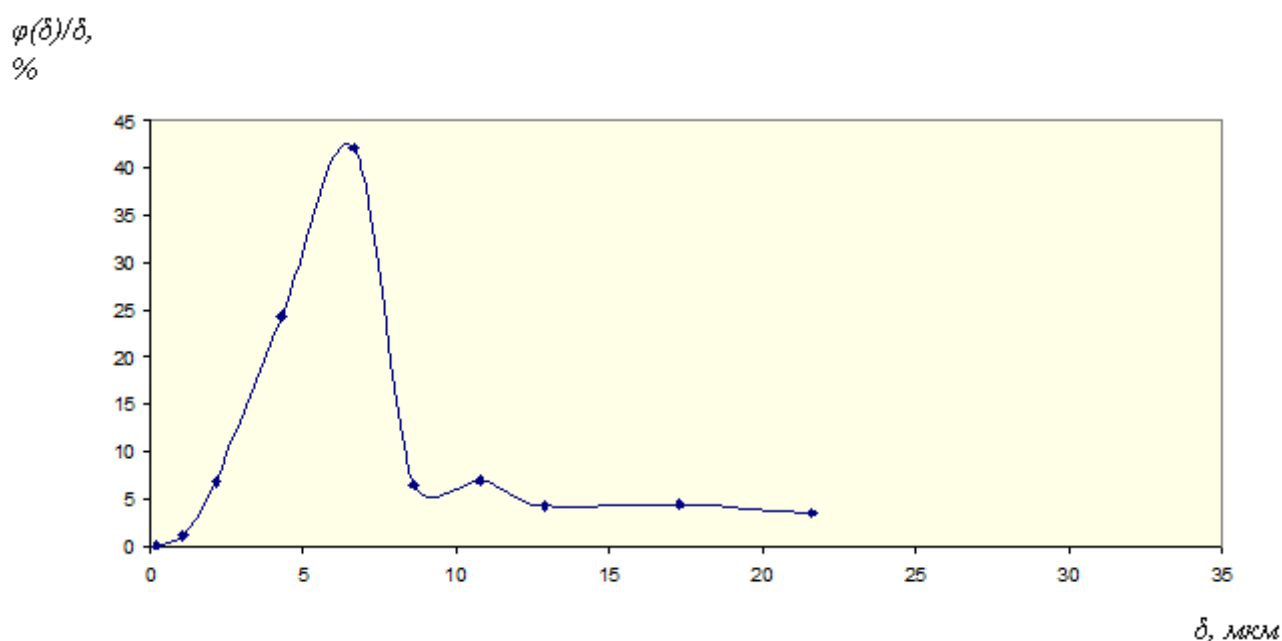


Рисунок 5.4 – Гістограма розподілення по розмірах часток пилу у районі вентиляційного ходка 4 західної розвантажувальної лави пласта ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ВСП «Шахта «Дніпровська» та ДВАТ «Шахта імені М.І. Сташкова»».

Наведені результати досліджень дисперсного складу пилу в шахтових викидах свідчать, що основна маса його у викидах має розмір часток в діапазоні 1-10 мкм, що становить суттєву загрозу екологічній безпеці прилеглих районів, що підтверджують дослідження концентрації пилу на границі санітарно-захисної зони шахт, де спостерігається перевищення гранично допустимої концентрації пилу в 1,2-2,0 рази.

Таким чином, задля забезпечення зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів необхідно забезпечити уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1-10 мкм) в шахтових викидах.

## **5.2 Експериментальна перевірка ефективності пристроїв уловлювання дрібнодисперсних часток пилу**

Як було показано раніше, пристрій для уловлювання дрібнодисперсних часток пилу повинен створювати такі умови, при яких на частку діє управляємо сила заданої величини і напрямлення, що забезпечує відокремлення частки від потоку повітря до її виходу з пристрою. Крім того, важливо, щоб ця сила діяла постійно, навіть після завершення процесу відокремлення частки від потоку повітря. Це необхідно для надійного утримання частки у пило накопичувачі.

Названі умови можна створити в динамічному пристрої, який являє собою кільцевий канал, створений двома співвісними трубами різного діаметра. На вході у кільцевий канал встановлені лопатки, які жорстко скріплені з обома трубами і обертаються разом з ними навколо осі труб. У результаті закрутки на пил діє відцентрова сила, яка спрямовує частки пилу до зовнішньої стінки кільцевого каналу та утримує їх там після торкання.

Для аеродинамічного розрахунку такого пристрою використовувався програмний комплекс *FlowER* [122], заснований на численному інтегруванні осереднених по Фавру рівнянь Нав'є-Стокса [123], для замкнення яких

застосована двохпараметрична модель турбулентності переносу здвигових напружень [124].

При розрахунку у повітряному потоці твердих часток пилу було зроблено припущення, що вони не впливають на характеристики течії. Таке припущення виправдано для умов, що розглядаються коли концентрація пилу не велика, а розмір часток малий (1 – 10 мкм). Для визначення траєкторії руху твердих часток застосовувалася методика, основана на інтегруванні по часу рівнянь руху Ньютона з урахуванням усіх діючих сил (аеродинамічний опір, сила тяжіння, відцентрова і каріолісова сили тощо).

Було досліджено декілька розрахункових схем динамічних очищувачів повітря від пилу. Встановлено, що на ступінь очищення впливає діаметр кільцевого каналу, частота його обертання, осева довжина очищувача і розмір частки пилу. Результати розрахунків руху часток пилу в різних очищувачах показані на рисунках 5.5 і 5.6. На рисунках представлені проєкції векторів швидкості у площі перерізів міжлопаткового каналу і траєкторії руху твердих часток у меридіанному перерізі очищувача, у залежності від початкового положення на вході у канал. З наведених результатів видно, що траєкторія польоту часток залежить від її початкового положення.

Потужність, що витрачається з урахуванням механічного ккд і запасу потужності для обох очищувачів становить біля 1,0 – 1,5 кВт. Фільтри, що розглядалися мають наступні характеристики.

Фільтр № 1:

- радіуси медіанних обводів – 0,07/0,09/0,11 м;
- частота обертання – 6685 об/хв.;
- перепад статичного тиску – 102–97 кПа;
- витрати повітря – 0,995 кг/с;
- кількість лопаток – 18 шт.;
- ступінь очищення повітря – 30% розмір часток – 1 мкм; 50 % часток мають розмір 2 мкм; 100 % часток мають розмір 3 мкм.

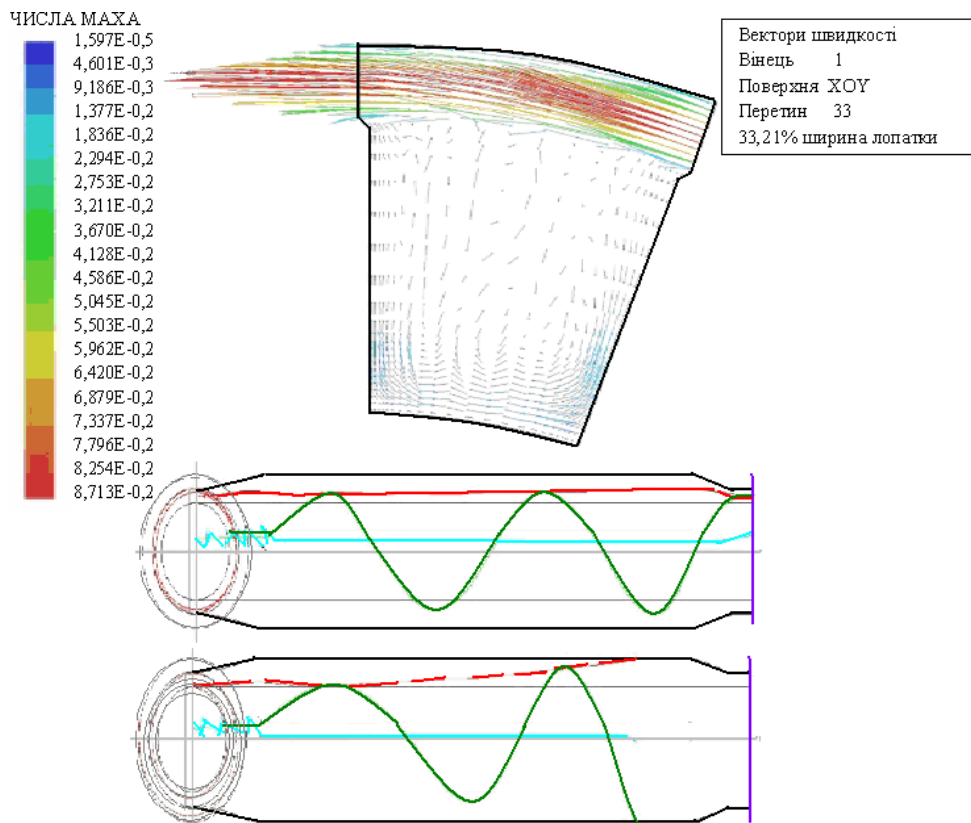


Рисунок 5.5 – Фільтр № 1.

## Фільтр № 2:

- радіуси медіанних обводів – 0,08/0,09/0,11 м;
- частота обертання – 8595 об/хв.;
- перепад статичного тиску – 102–97 кПа;
- витрати повітря – 0,45 кг/с;
- кількість лопаток – 24 шт.;
- ступінь очищення повітря – 80 % розмір часток – 1 мкм; 100 % часток мають розмір 2 мкм; 100 % часток мають розмір 3 мкм.

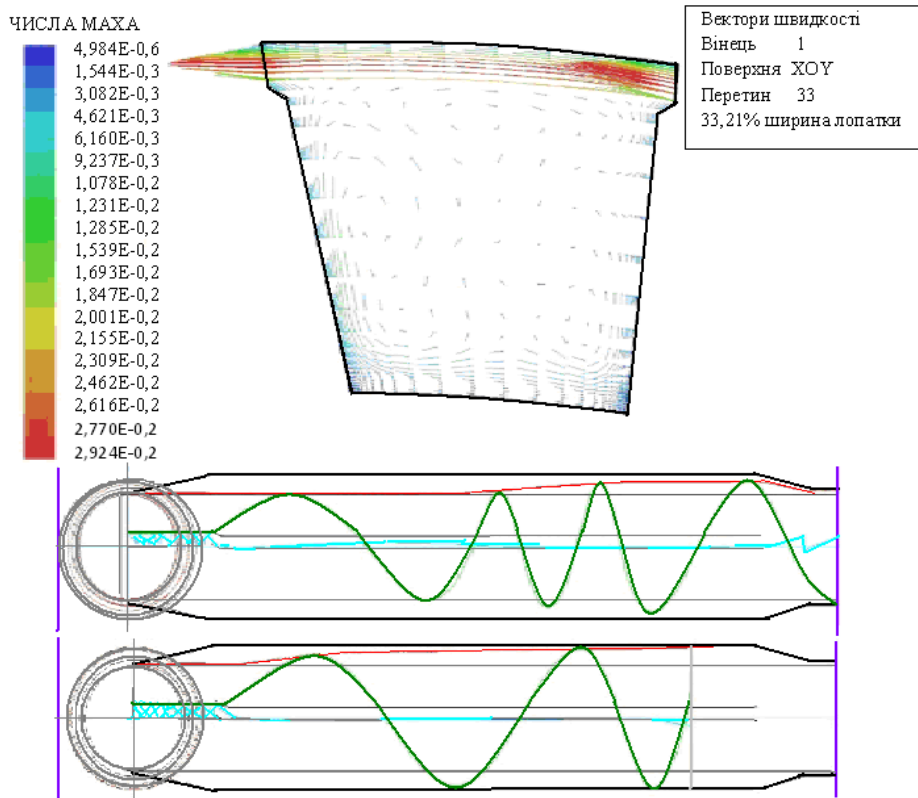


Рисунок 5.6 – Фільтр № 2.

З результатів розрахунків видно, що запропоновані пристрої мають високий ступінь очищення для дрібнодисперсного пилу і можуть використовуватися в якості другого ступеня очищення шахтових викидів в атмосферне повітря, що суттєво забезпечить стабілізацію та поліпшення стану навколишнього природного середовища в регіоні.

Використання запропонованих підходів щодо зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів, дозволить досягти уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1–10 мкм) у шахтових викидах, шляхом застосування на другій стадії очищення шахтового повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток на 95–99%.

### 5.3 Висновки до п'ятого розділу

1. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що вміст пилу у повітрі шахтних викидів, яке викидається в атмосферне повітря становить суттєву загрозу екологічній безпеці на навколишнє природне середовище, що потребує створення ефективної системи уловлення пилу за для забезпечення дотримання екологічних норм.

2. На підставі теоретичних досліджень експериментально визначено, що основна маса шахтового пилу у викидах має розмір часток у діапазоні 1–10 мкм, що зумовлює перевищення гранично-допустимої концентрації пилу в 1,2–2,0 рази на межі санітарно-захисної зони шахт. Після впровадження системного підходу перевищення знижується майже на 25%.

3. Розроблено й експериментально перевірено комбіновану систему фільтраційного очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів, яка забезпечує ефективне уловлювання не тільки крупнодисперсних часток пилу (>10 мкм), а і дрібнодисперсних часток (1–10 мкм) з ефективністю 95–99%.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне питання техногенного впливу об'єктів гірничопромислової діяльності на атмосферне повітря та розробки заходів щодо підвищення рівня екологічної безпеки в районах їх розташування.

1. Проведено аналіз стану екологічної безпеки атмосферного повітря в районах проведення гірничих робіт, в результаті якого встановлено, що пилоподібні викиди, які потрапляють до нього, мають найбільшу ймовірність поширення та безпосередньо розподіляються за ознаками їх агрегатного стану, походження та місця утворення.

2. Проаналізовано методи розрахунку концентрації домішок від точкових джерел викидів за різних умов експлуатації шахт. Визначено кількісні межі режимів еволюції пилу в полі тяжіння; отримано рівняння, які дають опис еволюції частинок пилу довільних розмірів.

3. Доведено, що фільтрацію забрудненого пилом шахтного повітря при викидах його в атмосферне, необхідно проводити у два етапи. На першому проводити очищення від частинок пилу великих розмірів, на другому – від дрібних, тим більше, що саме ці частки являють собою найбільшу небезпеку для дихальних шляхів.

4. Створено інформаційну модель поширення забруднення атмосферного повітря шахтовими викидами із заданими початковими та граничними умовами, які дозволяють прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та часі практично для будь-яких можливих надзвичайних ситуацій.

5. На підставі теоретичних досліджень експериментально визначено, що основна маса шахтового пилу у викидах має розмір часток у діапазоні 1–10 мкм, що зумовлює перевищення гранично-допустимої концентрації пилу в 1,2–2,0 рази на межі санітарно-захисної зони шахт. Після впровадження системного підходу перевищення знижується майже на 25%.



6. Розроблено й експериментально перевірено комбіновану систему фільтраційного очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтових викидів, яка забезпечує ефективне уловлювання не тільки крупнодисперсних часток пилу ( $>10$  мкм), а і дрібнодисперсних часток (1–10 мкм) з ефективністю 95–99%.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2017 рік [Електронний ресурс]. URL: <https://www.dsns.gov.ua>
2. Будыко М.И. Глобальная экология. Москва : Мысль, 1978. 204 с.
3. Моисеев Н.Н. Судьба цивилизации. Путь разума. Москва : Изд. МНЭПУ, 1998. 226 с.
4. G. Tyler Miller, IR. Living in the Environment (Ninth Eddition). Wadsworth Publishing Company. ITP. California. USA. 1997. 800 p.
5. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. Москва : Мир, 1980. 157 с.
6. Аникеев В.А., Копп И.З., Скалкин Ф.В. Технологические аспекты охраны окружающей среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 282 с.
7. Биченок М. М. Проблеми інформатизації в сфері екологічної безпеки. Стохастические задачи теории оптимизации и надежности. Киев : Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова НАН Украины, 1994. С. 29-34.
8. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей. Москва : Мир, 1989. 306 с.
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки України у 2009 р. [Електронний ресурс]. URL: [http://www.mns.gov.ua/content/annual\\_report\\_2009.html](http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2009.html)
10. План реалізації Стратегії розвитку Дніпропетровської області на період до 2020 року на 2015 2017 роки (узагальнення програм та проектів регіонального розвитку, ініційованих територіальними громадами області), 2015 р. / Дніпропетровська обласна державна адміністрація .

[Електронний ресурс]. URL: <https://adm.dp.gov.ua/ua/pro-oblast/rozvitok-regionu/strategiya-rozvitku>

11. Основні показники стану повітряного басейну Дніпропетровської області у 2007 році. Статистичний бюлетень. Дніпропетровськ, 2008. 111 с.
12. Звіт про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2008 рік. Дніпропетровськ, 2009. 137 с.
13. Адаменко Н.И., Квитковский Ю.В. Определение степени загрязненности почв с учетом изменения рельефа. Проблемы надзвичайних ситуацій : збірник наукових праць. Харків : УЦЗУ, 2009. Вип. 9. С. 33 - 35.
14. Астахов О.С., Харченко В.А. Принципи і методологія розробки заходів, які забезпечують екологічну безпеку галузі (частина II). Москва : Вид. МГГУ, 2003. 527 с.
15. Адаменко М.І., Кириченко І.О. Дослідження на об'єктовому рівні комплексних надзвичайних ситуацій. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Харків : Харків. ун-т Повітряних Сил, 2007. Вип. 4 (62). С. 54-56.
16. Дармофал Е. А. Інформаційне забезпечення екологічної безпеки вентиляційних викидів шахтних комплексів шляхом застосування системи автоматичного сповіщення та багаторівневої фільтрації. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Харків, 2015. Вип. № 3(128). С. 121-124.
17. Адаменко М.І., Гелета О.В. Математична модель витікання рідини з резервуара у режимі «Постріл». Науковий вісник будівництва. Харків : ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2005. том 2. Вип. 30. С. 7-10.
18. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні за 2006 рік . [Електронний ресурс]. URL: [www.menr.gov.ua/media/files/2\\_nd\\_stan\\_%20v\\_ukraini\\_2006.doc](http://www.menr.gov.ua/media/files/2_nd_stan_%20v_ukraini_2006.doc)

19. Селіванов С.Є., Адаменко М.І. Проблеми забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних об'єктів : збірник наукових праць ХНУ ім. Каразіна. Харків, 2010. С. 187-194
20. Про невідкладні заходи щодо поліпшення умов праці та вдосконалення державного нагляду за її охороною на підприємствах вугільної промисловості : Указ Президента України № 26/2002 від 16 січня 2002 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/26/2002>
21. 20. Про затвердження Порядку розгляду, схвалення та реалізації проектів, спрямованих на зменшення обсягу антропогенних викидів або збільшення абсорбції парникових газів згідно з Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату : Постанова Кабінету Міністрів України № 206 від 22 лютого 2006 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/206-2006-п/ed20150827/print>
22. Мала гірнича енциклопедія. т. 3 / за ред. В. С. Білецького. Донецьк: Донбас, 2004. 644 с.
23. Про затвердження Правил безпеки у вугільних шахтах : Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 22 березня 2010 року № 62 / Міністерство юстиції України 17.06.2010р. № 398/17693. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10>
24. Мала гірнича енциклопедія. т. 2 / за ред. В. С. Білецького. Донецьк : Донбас, 2007. 652 с.
25. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За ред. В. С. Білецького. Донецьк : Донбас, 2004. 640 с.
26. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності : монографія / Г.Г. Півняк, М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. Донецьк : НГУ, 2015. 288 с.

27. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10 Із змінами і доповненнями : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 7 вересня 2011 року N 960, наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 24 вересня 2014 року N 661. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 17 червня 2010 р. За N 398/17693 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0398-10>
28. Інструкція з виміру концентрації пилу в шахтах та обліку пилових навантажень НПАОП 10.0-5.08-04 : наказ Держнаглядохоронпраці № 236. 26.10.04. [Електронний ресурс]. URL: <http://document.ua/instrukcija-z-vimiru-koncentraciyi-pilu-v-shahtah-ta-obliku--nor2786.html>
29. Burenin V. V. New hydraulic filters, devices, and installations for industrial sewage purification. Chemical and Petroleum Engineering. 2018. P. 63-68.
30. Дармофал Е. А. Моделирование снижения экологической опасности выбросов шахтных комплексов. Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления : материалы IV Международной научно-технической конференции. Полтава, Баку, Белгород, Кіровоград, Харків, 2014, С. 67.
31. Войцицький А. П., Дубровський В.П., Боголюбов В.М. Техноекологія : підручник / за ред. В. М. Боголюбова. Київ : Аграрна освіта, 2009. 533 с
32. Моніторинг надзвичайних ситуацій : підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Ю. А. Абрамов, Є. М. Грінченко, А. Ю. Кірочкін та ін. Харків : АЦЗУ, 2005. 530 с.
33. Губенко В.А., Метельов В.О. Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Об'єднання теорії та практики - залог підвищення боєздатності пожежно-рятувальних підрозділів : матеріали міжн. наук.-практ. конф. Харків : УЦЗУ, 2007. С. 39 - 44.

34. Шахта. Горная энциклопедия / гл. ред. Е.А. Козловский. Москва : Советская энциклопедия, 1986.
35. Jay F. Colinet, James P. Rider, Jeffrey M. Listak, John A. Organiscak, and Anita L. Wolfe. Best Practices for Dust Control in Coal Mining. National Institute for Occupational Safety and Health. Pittsburgh. PA. Spokane. WA: DHHS (NIOSH) Publication No. 2010-110, 2010.
36. Передерій Г.С., Пономаренко А.М., Шелякін Г.М., Ветров С.Ф. Професійні ризики впливу виробничого пилу на гірників очисних вибоїв вугільних шахт. Укр. журн. з пробл. медицини праці. 2009. №18. С. 21-30.
37. Бейкер У., Кокс П., Чэстейн П. Взрывные явления. Оценка и последствия. Москва : Мир, 1986. 320 с.
38. Про затвердження Інструкції із запобігання та локалізації вибухів вугільного пилу : Наказ від 11.10.2013 № 724 / Міністерство юстиції України 30.10.2013 р. № 1834/24366. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1834-13>
39. Jaske R.T. FEMA's computerized aids for accident assessment Emergency Planning and Preparedness for Nuclear Facilities: Proc. Symp., Rome. 4-8 Nov. 1985. Vienna: IAEA, 1986. P.181-203
40. Spatial data handing capabilities in the ARAC system / Walker H. Emergency Planning and Preparedness for Nuclear Facilities : Proc. Symp., Rome. 4-8 Nov. 1985. Vienna: IAEA, 1986. P.385-361.
41. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : Постанова Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 року № 368. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF>

42. Адаменко М. І., Дармофал Е. А. Оцінка екологічного ризику в шахтних регіонах комплексно-інформаційним методом. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Харків, 2014. випуск 8(124). С.171-173.
43. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах : монография / В.К. Костенко, Ю. Ф. Булгаков, С.В. Подкопаев и др. Донецк : Изд-во «Ноулидж», 2010. 253 с.
44. Болбат И. Е., Лебедев В. И., Трофимов В. А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. Москва : Недра, 1992. 208 с.
45. Зарецкий А. Д. Менеджмент пожарной безопасности технологических процессов : учебное пособие. Краснодар : КСЭИ, 2011. 278 с.
46. Ликвидация аварий в угольных шахтах. Теория и практика / В. В. Радченко, С. Н. Смоланов, Г. Н. Алейникова и др. ; под общ. ред. Г.Н. Алейниковой. Киев : «Техника», 1999. 320 с.
47. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection.– Annals of the ICRP, volume 24. Nos 1-3, 1994.
48. НРБУ-97/Д 2000 (ДНАОП 0.03-3.24-97 (ДГН 6.6.1-6.5.061-98)) Норми радіаційної безпеки України. – Київ 1997
49. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А.Коузов. - Л.: Химия, 1987. – 264
50. Худсон Д. Статистика для физиков. М.: Мир, 1970. 296с.
51. Єршов С.В., Русанов А.В. Комплекс програм розрахунку тривимірних течій газу в багатовінцевих турбомашиних “FlowER” // Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір, ПА № 77. Державне агентство України з авторських та суміжних прав, 19.02.1996.
52. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Д.Андерсон, Дж.Таннехилл, Р.Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 725с.

53. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications, *AIAA Journal*, Vol. 32, No 8, 1994, PP. 1598–1605.
54. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2017 [Електронний ресурс]. URL: <https://menr.gov.ua/news/32893>.
55. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2016 рік [Електронний ресурс]. URL: <https://menr.gov.ua/news/32893>.
56. Горные удары и борьба с ними / Петухов И. М. и др. Пермь : Пермское книжное издательство, 1969. 399 с.
57. Blake W., Hedley D. G. F. Rockbursts : Case Studies from North American Hard-Rock Mines. SME, 2003. 128 p.
58. Полушкин В. И., Анисимов С. М., Васильев В. Вентиляция : учебное пособие для ВУЗов. Москва : Издательский центр Академия, 2008. 414 с.
59. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А., Медведев И.И. Аэрология горных предприятий : учебник для вузов, 3-е изд. Москва : Недра, 1987. 421 с.
60. Клебанов Ф.С. Воздух в шахте. Москва, 1995. 575 с.
61. Гладир В.В. Опрацювання комбінованих схем провітрювання тупикових заходок для шахт Марганецького ГЗК : зб. наукових праць. Кривий Ріг : НДІБПГ, 1999. Випуск 1. С. 40-46.
62. Аерологія шахтних вентиляційних мереж : монографія / В.О. Трофимов, Ю.Ф. Булгаков, О.Л. Кавера, М.В. Харьковский. Донецьк : Норд-Прес, 2009. 88 с.
63. Зеркалов Д. В. Безпека професійної діяльності : монографія. Київ : Основа, 2014. 1082 с.



64. Каледина Н.О., Романченко С.Б., Трофимов В.А. Компьютерное моделирование шахтных вентиляционных сетей : методические указания. Москва : Из-во Московского государственного горного университета, 2004. 72 с.
65. Аэрология горных предприятий : сборник задач. / Б.И. Медведев и др. Киев : Лыбидь, 1992. 262 с.
66. Воронин, В. Н. Основы рудничной аэро-газодинамики. Москва-Ленинград : Углетехиздат, 1951. 492 с.
67. Дармофал Е.А. Локалізація аварійного впливу на шахтарів небезпечних факторів пилового забруднення шахтових комплексів. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2015. С. 54.
68. Дармофал Е. А. Системы локализации пылевых выбросов. Наукові розробки, передові технології, інновації : тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2016. С. 27.
69. Зеркалов Д. В. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. Київ : Основа, 2011. 526 с.
70. Артамонов В. Н., Николаев Е. Б. Способ увлажнения угольного пласта : декларационный патент на полезную модель, (13)UA, (11)9320, (51) 7 E21F5/05 від 15.09.2005.
71. Дармофал Е. А. Екологічна небезпечність шахтних комплексів та її зниження шляхом очищення вентиляційних викидів. Науковий вісник будівництва : збірник наукових праць. Харків, 2014. № 3 (77). С. 214-218.
72. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник. Київ : Т-во "Знання", КОО, 2000. 203 с.

73. Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология. Общий курс : в 2 т. т. 1.: Теоретические основы инженерной экологии : учеб. пособие для вузов / под ред. И.И. Мазура. Москва : Высш. Шк., 1996.- 637 с.
74. Ищук И. Г., Поздняков Г. А. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий : справочник. Москва : Недра, 1991. 253 с.
75. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. Москва : Металлургия, 1977. 456 с.
76. Носовский. И. Основы промышленной экологии. Москва : ИСДО, 1996. 80 с.
77. Куц В. П., Марціяш О. М., Ярош Я. Д. Доцільність і передумови створення циклона з ступеневим відведенням твердої фази. Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2003. Т. 8. №4. С.128-132.
78. Куц В. П., Марціяш О. М. Визначення ефективності очищення в циклоні з ступеневим відведенням пилу. Вісник Національного університету Львівська політехніка : Хімія, технологія речовин та їх застосування. Львів, 2004. № 516. С.93-98.
79. Классификация обеспыливающих устройств и характеристика их действия [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://promventil.ru/klassifikaciyaobespylivayushhix-ustrojstv-i-xarakteristika-ix-dejstviya.html>.
80. Бразовский В. В. Исследование процессов многоступенчатой очистки. ЭФТЖ. 2008. Т. 3. С. 26–34
81. Вальдберг А. Ю. и другие. Технология пылеулавливания. Ленинград : Машиностроение, 1985. 192 с.

82. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов от пыли : справ. изд. М. : Metallurgia, 1986. 544 с.
83. Промислова екологія: навчальний посібник / С. О. Апостолук, В. С. Джигирей, І. А. Соколовський та ін. 2-ге вид., виправл. і доповн. Київ : Знання, 2012. 430 с.
84. Білецький В. С., Смирнов В. О. Технологія збагачення корисних копалин. Донецьк : Східний видавничий дім, 2003. 272 с.
85. Озарків І.М. Мисак Й.С., Кірик М.Д., Соколовський І.А., Джигирей В.С., М'якуш І.І. Основи техноекології : навч. посібн. Львів : Вид-во НВФ Українські технології, 2009. 336 с.
86. Попов М. А. Инженерная защита окружающей среды на территории города. Москва : Изд-во МГУП, 2005. 231 с.
87. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2012. 388 с.
88. Бекетов В. Є., Ломакіна О. С., Коваленко Ю. Л. Апарати мокрої очистки газів : з дисципліни Інженерні аспекти аероекології : конспект лекцій / Харків. нац. ун-т. міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 75 с.
89. Страус В. Промышленная очистка газов: пер. с англ. Москва : Химия, 1991, 616 с.
90. Глущенко О. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Пилеуловлювання та очищення промислових викидів». Кам'янське : ДДТУ, 2012. 111 с.
91. Sun W.-Y. and C.-Z. Chang. Diffusion model for a convective layer. Part 2: Plume released from a continuous point source. J. Climate Appl. Meteorol. 1986. vol. 25. No 10. pp. 1454-1463.

92. Деркач Ф. А. Неорганічна хімія : лабораторний практикум : навчальний посібник для хімічних факультетів університетів. Київ : Вища школа, 1978. 231 с.
93. Roberts, P.J.W., & Webster, D.R. (2002). "Turbulent Diffusion". In Shen, Hayley H. Environmental fluid mechanics: theories and applications. New York: American Society of Civil Engineers. ISBN 0-7844-0629-4. OCLC 50090138.
94. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. Х. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Киев : Наук. думка. 1997. 368 с.
95. Довгий С.А., Прусов В.А., Копейка О.В. Математическое моделирование техногенных загрязнений окружающей среды. Киев: Наук. думка, 2000. 284 с.
96. Берлянд М. Е, Генихович Е. Л., Ложкина В. П., Окикул Р. И. Численное исследование атмосферной диффузии при нормальных и аномальных условиях стратификации. Труды ГГО, 1964. вып. 158. С. 22-32.
97. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Ленинград : Гидрометеорологическое издательство, 1970. 342 с
98. Бызова Н. Л., Гаргер Е. Г., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примесей. Ленинград, 1991. 273 с.
99. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Ленинград, 1975. 448 с.
100. Шмандій В. М., Пляцук Д. Л., Гурець Л. Л. Алгоритм розрахунку техногенного навантаження від викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Науковий журнал «ScienceRise». 2015. Т. 5. № 2. С. 43–48.
101. Ложкина О. В., Попов В. В., Кузнецова А. Д. Анализ физико-математических моделей атмосферной диффузии применительно к оценкам

воздействия автотранспорта на городскую среду. Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. : Серия Математическое моделирование, компьютерные технологии в теории управления сложных процессов. 2012. №1. С. 59–66.

102. Розенберг Г. С., Шитиков В. К., Брусиловский П. М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). Тольятти, 1994. 182 с.

103. Шмандій В. М., Пляцук Д. Л. Математична модель розсіювання забруднювальних речовин в атмосфері від стаціонарних джерел. Экология и промышленность. 2015. №1. С. 51–55.

104. Михалевич В. С., Кнопов П. С., Голодников А. Н. Математические модели и методы оценки риска на экологически опасных производствах. Кибернетика и системный анализ. 1994. №2. С. 121-139.

105. Хайкин С. Э. Физические основы механики : учеб. пособие для студ. ун-тов. Москва : Физматгиз, 1963, Москва : Наука, 1971.

106. Андреев П. И. Рассеяние в атмосферном воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. Москва : Госстройиздат, 1952. 88 с.

107. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. Москва : Химия, 1980. 288 с.

108. Сетон О. Г. Микрометеорология. / Пер. с англ. Ленинград : Гидрометеиздат, 1958. 230 с.

109. Самсонов В.Т. Математическая модель процесса очистки промышленных выбросов от пыли Электронный вариант. 2004.

110. Николаев А. В. Пути повышения эффективности воздухоподготовки на горнодобывающих предприятиях. Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. праць. Дніпропетровск : ІГТМ НАНУ, 2015. Вип. 122. С. 38-48.
111. Русанов А. В., Дыхановский В. Н., Дармофал Е. А. Очистка экологически опасных вентиляционных выбросов шахтных комплексов путем создания комбинированных систем фильтрации. Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый». 2014. № 19 (78). С. 240-243.
112. Савельев И. В. Курс общей физики. Т2. Москва : Астрель АСТ, 2008. 366с.
113. Дармофал Е. А., Адаменко М. І. Технічне обслуговування систем спостереження за екологічно небезпечним впливом шахтних викидів на довкілля. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2014. № 1 (32). 39-42.
114. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. Москва : Мир, 1980. 606 с.
115. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Москва : Мир, 1967. Том 1. 498 с.
116. ICRP Publication 66. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Annals of the ICRP. volume 24. Nos 1-3. 1994.
117. Норми радіаційної безпеки України НРБУ-97/Д 2000 (ДНАОП 0.03-3.24-97 (ДГН 6.6.1-6.5.061-98)) / Міністерство охорони здоров'я України; Комітет з питань гігієнічного регламентування; Національна комісія з радіаційного захисту населення України. Київ 1997. [Електронний ресурс]. URL: [https://dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП\\_-97](https://dnaop.com/html/43243/doc-ДНАОП_-97)
118. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Ленинград : Химия, 1987. - 264 с.

119. Медведев Э. Н. Кашуба О. И., Кривохижа Б. М., Крутенко С. А. Пылевая обстановка и заболеваемость пневмокониозом на шахтах Украины. Макеевка-Донбасс : МакНИИ, 2005. 205 с.
120. Протоколи №№ 802-8011 від 28.03.2018 р. Лабораторного центру Держсанепідслужби України.
121. Єршов С.В., Русанов А.В. Комплекс програм розрахунку тривимірних течій газу в багатовінцевих турбомашинах “FlowER” : Свідоцтво про державну реєстрацію прав автора на твір, ПА № 77. Державне агентство України з авторських та суміжних прав, 19.02.1996.
122. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. Москва : Мир, 1990. 725с.
123. Menter F.R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. AIAA Journal. Vol. 32. No 8. 1994. PP. 1598–1605.
124. Адаменко М. І., Гарбуз С. В. Інформаційна модель поширення забруднення атмосфери викидами із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків. НТУ "ХПІ". 2016. № 17 (1189). С. 115–121.
125. Захаренко О. В., Адаменко М. І., Клименко О. А. Підвищення безпеки життєдіяльності об'єктів хімічної промисловості шляхом моделювання заходів по локалізації надзвичайних ситуацій. Система озброєння і військ. техніка : наук. журн. Харків. ун-ту повітряних сил. Харків. ХУПС. 2009. № 2. С. 73.
126. Адаменко М. І. Забезпечення екологічної безпеки аварійного функціонування потенційно небезпечних об'єктів // Системи озброєння і військова техніка. Харків: ХУПС. 2012. Вип. 2 (30). С. 227–228.

127. Адаменко М. І. Забезпечення екологічної безпеки аварійного функціонування потенційно небезпечних об'єктів. Системи озброєння і військова техніка. Харків. ХУПС. 2012. Вип. 2 (30). С. 227–228.

128. Адаменко М. І. Дослідження меж екологічного впливу хімічно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище. Науковий вісник будівництва. Харків. ХДУБА : ХОТВ АБУ. 2010. Вип. 35. С. 6–8.

129. Адаменко Н. И. Классификация чрезвычайных ситуаций по видам ресурсов, применяемых для их ликвидации. Науковий вісник будівництва. Харків. ХДУБА : ХОТВ АБУ. 2002. Вип. 18. С. 11–13.



## **ДОДАТКИ**

## ДОДАТОК А

## Список публікацій здобувача

***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації***

1. Дармофал Е. А. Екологічна небезпечність шахтових комплексів та її зниження шляхом очищення вентиляційних викидів. *Науковий вісник будівництва* : збірник наукових праць. Харків, 2014. № 3 (77). С. 214-218.

2. Адаменко М. І., Дармофал Е. А. Оцінка екологічного ризику в шахтових регіонах комплексно-інформаційним методом. *Системи обробки інформації* : збірник наукових праць. Харків, 2014. вип. 8(124). С.171-173.

3. Дармофал Е. А., Адаменко Н. И. Техническое обслуживание систем наблюдения за экологически опасным влиянием шахтных выбросов на окружающую среду. *Вестник ДГМА*. 2014. № 1(32). С. 39-42

4. Адаменко Н. И., Дармофал Е. А. Математична модель поширення атмосфери з шахтових викидів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності* : збірник наукових праць. 2014. № 10. С. 163-172.

5. Русанов А. В., Дыхановский В. Н., Дармофал Е. А. Очистка экологически опасных вентиляционных выбросов шахтных комплексов путем создания комбинированных систем фильтрации. *Ежемесячный научный журнал «Молодой ученый»*, 2014. № 19 (78). С. 240-243.

6. Дармофал Е. А. Інформаційне забезпечення екологічної безпеки вентиляційних викидів шахтових комплексів шляхом застосування системи автоматичного сповіщення та багаторівневої фільтрації. *Системи обробки інформації* : збірник наукових праць. Харків, 2015. вип. № 3(128). С. 121-124.

7. Darmofal Eleonora. Vliv na lidske zdravi ekologicky nebezpecne exploze duln s necistoty ve ventilacnich systemach. *Modern science-Moderni veda*. Praha. Ceska republika. Nemoros. 2015. № 3. P. 193-198.

8. Адаменко М. І., Халмурадов Б. Д., Дармофал Е.А. Інформаційна модель поширення забруднення атмосфери на об'єктах гірничо-видобувного виробництва : збірник наукових праць Харківського національного

університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Харків, 2017. вип. № 3(52). с. 126-131.

***Наукові праці, які свідчать про апробацію матеріалів дисертації***

9. Дармофал Е. А., Доронін Є. В. Інформаційне моделювання мінімізації екологічно небезпечного впливу викидів вентиляції шахтових комплексів. *Методи підвищення ресурсу інженерних інфраструктур* : матеріали VI Всеукраїнського науково семінару. Харків, 2014. С. 32-34.

10. Дармофал Е. А., Адаменко М. І. Системна профілактика силікозу, який виникає у наслідок вентиляційних викидів систем шахтових комплексів. *Інноваційні напрями рекреації, фізичної реабілітації та оздоровчих технологій* : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2014. С. 30-35.

11. Дармофал Е. А. Моделирование снижения экологической опасности выбросов шахтных комплексов. *Современные направления развития информационно-коммуникационных технологий и средств управления* : материалы IV Международной научно-технической конференции. Полтава, Баку, Белгород, Кировоград, Харьков, 2014. С. 67.

12. Дармофал Е.А. Локалізація аварійного впливу на шахтерів небезпечних факторів пилового забруднення шахтових комплексів. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : матеріали п'ятої міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2015. С. 54.

13. Дармофал Е. А. Системы локализации пылевых выбросов. *Наукові розробки, передові технології, інновації* : тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2016. С. 27.

14. Халмурадов Б. Д., Дармофал Е. А. Математичне моделювання процесів вентиляції шахтових комплексів. *Проблеми інформатизації* : тези доповідей п'ятої міжнародної науково-технічної конференції. Черкаси, Баку, Бельсько-Бяла, Полтава, 2017. С. 3.

15. Дармофал Е. А. Засоби підвищення екологічної безпеки шахтових викидів шляхом покращення інфільтрації пилогазоподібних відходів. *Інноваційні аерокосмічні технології в екологічному моніторингу* : матеріали науково-технічної конференції. Харків, 2018. С. 30.

16. Адаменко М. І., Дармофал Е. А. Динамічна модель розповсюдження атмосферних забруднень на базі результатів екомоніторингу. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : тези доповідей десятої міжнародної науково-технічної конференції Баку – Харків – Жиліна, 2020. С. 65.

## ДОДАТОК Б

## Моніторингові дані шахтних викидів забруднюючих речовин

Таблиця Б. 1 – Динаміка шахтних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря по Дніпропетровській області та основним містам

| Населені такти           | 2010 р. | 2011 р. | 2012 р. | 2013 р. | 2014 р. | 2015 р. | 2016 р. | 2017 р. |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Дніпропетровська область | 933,106 | 950,374 | 961,947 | 940,5   | 855,775 | 723,9   | 833,0   | 657,325 |
| м. Дніпро                | 110,03  | 110,047 | 110,419 | 104,8   | 87,725  | 48,5    | 80,56   | 45,681  |
| м. Кривий Ріг            | 395,032 | 358,559 | 354,597 | 351,778 | 327,374 | 327,031 | 342,881 | 323,904 |
| м. Кам'янське            | 108,49  | 124,684 | 116,382 | 115,45  | 105,032 | 100,992 | 90,45   | 57,751  |
| м. Вільногірськ          | 1,848   | 0,98    | 0,723   | 0,778   | 0,782   | 1,276   | 1,284   | 1,235   |
| м. Жовті Води            | 1,051   | 1,175   | 1,054   | 1,009   | 1       | 0,931   | 0,965   | 0,97    |
| м. Новомосковськ         | 0,184   | 0,186   | 0,166   | 0,165   | 0,117   | 0,092   | 0,096   | 0,092   |
| м. Нікополь              | 26,159  | 25,371  | 22,416  | 15,339  | 21,49   | 19,469  | 25,664  | 25,333  |
| м. Марганець             | 1,214   | 1,135   | 1,078   | 1,011   | 0,453   | 0,386   | 0,355   | 0,344   |
| м. Покров                | 9,212   | 10,652  | 5,01    | 13,798  | 13,132  | 10,427  | 3,295   | 8,064   |
| м. Павлоград             | 0,764   | 0,524   | 0,466   | 0,419   | 0,418   | 0,377   | 0,384   | 0,604   |
| м. Синельникове          | 0,133   | 0,099   | 0,08    | 0,041   | 61,224  | 0,06    | 0,076   | 0,059   |
| м. Першотравенськ        | 1,301   | 1,272   | 1,181   | 1,108   | 1,182   | 0,848   | 1,002   | 0,909   |
| м. Тернівка              | 39,41   | 33,715  | 39,47   | 43,033  | 43,819  | 42,229  | 40,38   | 43,696  |

## ДОДАТОК В

## Моніторингові дані викидів забруднюючих речовин

Таблиця В. 1 – Динаміка викидів забруднюючих речовин у містах Дніпропетровської області

| Викиди по області  | 2010     | 2011     | 2012     | 2013     | 2014     | 2015  | 2016   | 2017   |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|-------|--------|--------|
| Загальна кількість викидів в атмосферне повітря, тис.т. в т.ч. | 1140.484 | 1157,883 | 1173,077 | 1143,848 | 1037,075 | 876.6 | 833.0* | 657,3* |
| - від стаціонарних джерел забруднення, тис. т.                 | 933.106  | 950.373  | 961.947  | 940.5    | 855,775  | 723.9 | 833.0  | 657,3  |
| - від пересувних джерел забруднення, тис. т.                   | 207,378  | 207,51   | 211.13   | 203.348  | 181.3    | 152.6 | **     | **     |

— без рахування викидів від пересувних джерел

— дані в органах Держхомстату відсутні

## ДОДАТОК Г

## Моніторингові дані викидів в атмосферне повітря

Таблиця Г. 1 – Динаміка викидів в атмосферне повітря у містах Дніпропетровської області

| Роки | Викиди в атмосферне повітря, тис. т. |                         |                       | Щільність викидів у розрахунку на 1 км <sup>2</sup> , кг | Обсяги викидів у розрахунку на 1 особу, кг | Обсяг викидів на одиницю ВРП*, т/млн. грн. |
|------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|--|--|
|      | Всього                               | у тому числі            |                       |  |  |  |
|      |                                      | стаціонарними джерелами | пересувними джерелами |  |  |  |
| 2010 | 1140,484                             | 933,106                 | 207,378               | 35729  | 341,820                                    | *  |
| 2011 | 1157,883                             | 950,373                 | 207,51                | 36275  | 345,957                                    | *  |
| 2012 | 1173,077                             | 961,947                 | 211,13                | 36747  | 354,008                                    | *  |
| 2012 | 1143,848                             | 940,5                   | 203,348               | 35831,45   | 346,608                                    | *  |
| 2014 | 1037,075                             | 855,775                 | 181,3                 | 26807,47   | 260,547                                    | *  |
| 2015 | 876,6                                | 723,9                   | 152,6                 | 22677,5  | 221,7                                      | *  |
| 2016 | 833,0**                              | 833,0                   | %                     | 26093,0  | 256,9                                      | *  |
| 2017 | 657,3**                              | 657,3                   | %                     | 20600,0  | 203,5                                      | *  |

\*Валовий регіональний продукт (ВРП)

— без рахування викидів від пересувних джерел

— дані в органах Держхомстату відсутні

## ДОДАТОК Д

### Моніторингові дані викидів найпоширеніших забруднюючих речовин

Таблиця Д. 1 – Динаміка викидів найпоширеніших забруднюючих речовин в атмосферне повітря у містах Дніпропетровської області протягом 2010 – 2017 років, тис. т.

| Населені пункти         | 2011р.        |              |                |               |               | 2012р.        |              |               |               |                | 2013р.       |              |                |               |                | 2014р.         |              |                |               |                |
|-------------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
|                         | разом         | в т.ч.       |                |               |               | разом         | в т.ч.       |               |               |                | разом        | в т.ч.       |                |               |                | разом          | в т.ч.       |                |               |                |
|                         |               | пил          | діоксид сірки  | діоксид азоту | оксид вуглецю |               | пил          | діоксид сірки | діоксид азоту | оксид вуглецю  |              | пил          | діоксид сірки  | діоксид азоту | оксид вуглецю  |                | пил          | діоксид сірки  | діоксид азоту | оксид вуглецю  |
| м. Дніпро               | 110,1         | 22,1         | 51,017         | 19,262        | 7,693         | 110,42        | 21,01        | 55,36         | 19,078        | 6,31           | 104,8        | 15,4         | 56,335         | 18,11         | 6,498          | 87,725         | 13,7         | 42,635         | 18,04         | 6,398          |
| м. Кривий Ріг           | 358,56        | 62,27        | 16,79          | 14,157        | 234,55        | 354,6         | 59,1         | 13,121        | 14,135        | 242,85         | 351,778      | 52,16        | 12,685         | 13,134        | 245,916        | 327,374        | 46,66        | 12,05          | 12,634        | 230,147        |
| м. Кам'янське           | 124,68        | 17,94        | 10,246         | 5,841         | 81,174        | 116,38        | 15,56        | 9,688         | 5,78          | 82,138         | 115,45       | 14,69        | 10,115         | 5,14          | 81285          | 105,03         | 13,56        | 9,375          | 4,747         | 74,9           |
| м. Вільногірськ         | 0,98          | 0,116        | 0,335          | 0,199         | 0,269         | 0,723         | 0,39         | 0,008         | 0,141         | 0,078          | 0,778        | 0,47         | 0,009          | 0,13          | 0,056          | 0,782          | 0,55         | 0,008          | 0,097         | 0,049          |
| м. Жовті Води           | 1,175         | 0,135        | 0,589          | 0,183         | 0,091         | 1,054         | 0,134        | 0,45          | 0,261         | 0,051          | 1,009        | 0,14         | 0,373          | 0,25          | 0,05           | 1              | 0,1          | 0,319          | 0,191         | 0,079          |
| м. Новомосковськ        | 0,186         | 0,06         | 0,005          | 0,051         | 0,032         | 0,166         | 0,05         | 0,002         | 0,047         | 0,035          | 0,165        | 0,06         | 0,003          | 0,038         | 0,03           | 0,117          | 0,05         | 0,002          | 0,036         | 0,015          |
| м. Нікополь             | 25,371        | 0,931        | 0,246          | 0,953         | 22,412        | 22,416        | 0,855        | 0,218         | 0,952         | 19,651         | 15,339       | 0,706        | 0,208          | 0,805         | 13,102         | 21,49          | 0,791        | 0,274          | 0,974         | 18,956         |
| м. Марганець            | 1,135         | 0,273        | 0,079          | 0,113         | 0,516         | 1,078         | 0,256        | 0,097         | 0,127         | 0,481          | 1,011        | 0,25         | 0,065          | 0,112         | 0,474          | 0,453          | 0,29         | 0,013          | 0,049         | 0,092          |
| м. Покров               | 10,651        | 0,082        | 0,334          | 0,316         | 9,775         | 5,01          | 0,061        | 0,162         | 0,173         | 4,581          | 13,798       | 3,19         | 0,271          | 0,372         | 9,828          | 13,132         | 4,28         | 0,189          | 0,353         | 8,173          |
| м. Павлоград            | 0,524         | 0,263        | 0,078          | 0,086         | 0,051         | 0,466         | 0,213        | 0,084         | 0,083         | 0,037          | 0,42         | 0,14         | 0,062          | 0,084         | 0,068          | 0,418          | 0,12         | 0,059          | 0,084         | 0,099          |
| м. Синельникове         | 0,099         | 0,021        | 0,026          | 0,017         | 0,017         | 0,08          | 0,017        | 0,021         | 0,017         | 0,012          | 0,04         | 0,006        | 0,0009         | 0,008         | 0,012          | 61,224         | 0,008        | 0,0007         | 0,014         | 0,03           |
| м. Першотравенськ       | 1,273         | 0,188        | 0,971          | 0,002         | 0,015         | 1,181         | 0,175        | 0,902         | 0,002         | 0,014          | 1,108        | 0,164        | 0,811          | 0,002         | 0,018          | 1,182          | 0,186        | 0,843          | 0,002         | 0,024          |
| м. Тернівка             | 33,715        | 0,58         | 0,721          | 0,108         | 0,214         | 39,47         | 0,58         | 0,706         | 0,106         | 0,208          | 43,033       | 0,51         | 0,551          | 0,08          | 0,148          | 43,819         | 0,2          | 0,651          | 0,097         | 0,184          |
| <b>Разом по області</b> | <b>950,37</b> | <b>131,7</b> | <b>247,873</b> | <b>59,138</b> | <b>364,45</b> | <b>961,95</b> | <b>126,5</b> | <b>258,55</b> | <b>59,71</b>  | <b>358,069</b> | <b>940,5</b> | <b>109,9</b> | <b>233,015</b> | <b>54,484</b> | <b>359,838</b> | <b>855,775</b> | <b>99,93</b> | <b>191,671</b> | <b>52,207</b> | <b>340,382</b> |



## Продовження додатку Д

Таблиця Д. 2 – Динаміка викидів найпоширеніших забруднюючих речовин в атмосферне повітря у містах Дніпропетровської області протягом 2010 – 2017 років, тис. т.

| Населені пункти         | 2015р.       |               |               |               |               | 2016р.     |                |                |               |               | 2017р.       |               |                |                |                 |
|-------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
|                         | разом        | в т.ч.        |               |               |               | разом      | в т.ч.         |                |               |               | разом        | в т.ч.        |                |                |                 |
|                         |              | пил           | діоксид сірки | діоксид азоту | оксид вуглецю |            | пил            | діоксид сірки  | діоксид азоту | оксид вуглецю |              | пил           | діоксид сірки  | діоксид азоту  | оксид вуглецю   |
| м. Дніпро               | 48,5         | 10,4          | 23,144        | 7,917         | 6,036         | 80,56      | 13,777         | 45,19          | 12,058        | 7,875         | 45,681       | 10,5          | 17,024         | 7,443          | 9,389           |
| м. Кривий Ріг           | 327          | 50,055        | 10,677        | 16,251        | 237,972       | 342,881    | 50,223         | 11,193         | 15,15         | 254,397       | 323,904      | 46,3          | 10,277         | 13,956         | 242,52          |
| м. Кам'янське           | 101          | 13,2          | 8,569         | 4,509         | 72,702        | 90,45      | 11,624         | 7,015          | 4,213         | 65,819        | 57,751       | 7,4           | 4,174          | 2,97           | 41,514          |
| м. Вільногірськ         | 1,276        | 1,081         | 0,006Я        | 0,087         | 0,044         | 1,284      | 1,071          | 0,003          | 0,085         | 0,039         | 1,235        | 1,170         | 0,0002         | 0,019          | 0,016           |
| м. Жовті Води           | 0,931        | 0,046         | 0,258         | 0,196         | 0,112         | 0,965      | 0,043          | 0,358          | 0,11          | 0,104         | 0,97         | 0,065         | 0,347          | 0,108          | 0,116           |
| м. Новомосковськ        | 0,092        | 0,035         | 0,00172       | 0,027         | 0,016         | 0,0966     | 0,035          | 0,008          | 0,033         | 0,016         | 0,092        | 0,037         | 0,0011         | 0,027          | 0,016           |
| м. Нікополь             | 19,469       | 0,649         | 0,253         | 0,85          | 17,303        | 25,664     | 0,841          | 0,319          | 0,958         | 23,203        | 25,333       | 0,846         | 0,347          | 0,943          | 22,902          |
| м. Марганець            | 0,386        | 0,261         | 0,0033        | 0,034         | 0,075         | 0,355      | 0,267          | 0,02           | 0,011         | 0,049         | 0,344        | 0,3           | 0,0023         | 0,013          | 0,0156          |
| м. Покров               | 10,43        | 3,685         | 0,041         | 0,226         | 6,4           | 3,295      | 1,795          | 0,035          | 0,062         | 1,373         | 8,064        | 2,349         | 0,127          | 0,190          | 5,361           |
| м. Павлоград            | 0,377        | 0,097         | 0,054         | 0,074         | 0,098         | 0,384      | 0,104          | 0,041          | 0,082         | 0,102         | 0,604        | 0,2           | 0,175          | 0,09           | 0,103           |
| м. Синельникове         | 0,06         | 0,01          | 0,0009        | 0,0012        | 0,031         | 0,076      | 0,011          | 0,01           | 0,012         | 0,04          | 0,059        | 0,008         | 0,0006         | 0,0098         | 0,032           |
| м. Першотравенськ       | 0,848        | 0,147         | 0,574         | 0,0015        | 0,018         | 1,002      | 0,18           | 0,668          | 0,002         | 0,02          | 0,909        | 0,16          | 0,6            | 0,002          | 0,021           |
| м. Тернівка             | 42,229       | 0,305         | 0,6           | 0,086         | 0,093         | 40,38      | 0,505          | 0,613          | 0,083         | 0,6           | 43,6%        | 0,416         | 0,607          | 0,074          | 0,006           |
| <b>Разом по області</b> | <b>723,9</b> | <b>94,211</b> | <b>98,635</b> | <b>34,946</b> | <b>341,92</b> | <b>833</b> | <b>107,616</b> | <b>181,799</b> | <b>43,182</b> | <b>354,4М</b> | <b>657,3</b> | <b>69,727</b> | <b>33,6821</b> | <b>25,8447</b> | <b>695,6406</b> |

## ДОДАТОК Е

Моніторингові дані осяги викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин  
стаціонарними джерелами

Таблиця Е. 1 – Осяги викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин  
стаціонарними джерелами у районах та містах області у 2017 р. (т.)

| Населені пункти                 | Обсяги викидів, т. |            | Збільшення (-)/<br>зменшення (-)<br>викидів у 2017<br>р. проти<br>2016р., т. | Обсяги<br>викидів у<br>2017 р. до<br>2016 р., % | Викинуто в<br>середньому одним<br>підприємство, т. * |
|---------------------------------|--------------------|------------|--|---|--|
|                                 | у 2016 р.          | у 2017 р.  |  |   |  |
| <b>Дніпропетровська область</b> | 832969.1           | 657324.601 | -175644  | 126.7211  | -  |
| м. Дніпро                       | 80560.6            | 45681.375  | -34879.2   | 176.3533  | -  |
| м. Вільногірськ                 | 1284.3             | 1235.369   | -48.931  | 103.9608  | -  |
| м. Кам'янське                   | 90450.6            | 57750.912  | -32699.7   | 156.6219  | -  |
| м. Жовті Води                   | 965.0              | 969.568    | + 4.568  | 99.52886  | -  |
| м. Кривий Ріг                   | 342881.6           | 323903.953 | -18977.6   | 105.859   | -  |
| м. Марганець                    | 355.6              | 344.491    | -11.109  | 103.2248  | .  |
| м. Накопачь                     | 25664.1            | 25332.795  | -331.305   | 101.3078  | -  |
| м. Новомосковськ                | 96.6               | 92.513     | -4.087   | 104.4178  | .  |
| м. Покров                       | 3295.2             | 8063.851   | + 4768.651   | 40.86385  | -  |
| м. Павлоград                    | 384.6              | 603.862    | + 219.262  | 63.69005  | -  |
| м. Першотравенськ               | 1002.6             | 908.998    | -93.602  | 110.2973  | -  |
| м. Синельникове                 | 76.7               | 58.988     | -17,712  | 130.0264  | -  |
| м. Тернівка                     | 40380.5            | 43696.011  | + 3315.511   | 92,41233  | -  |
| <b>райони</b>                   |                    |            |  |   |  |
| Апостолівський                  | 146383.8           | 48598.505  | -97785.3   | 301.2105  | -  |
| Васильківський                  | 31,7               | 84.268     | +52.568  | 37,61808  | -  |
| Верхньодніпровський             | 558.8              | 355.485    | -203.315   | 157,1937  | -  |
| Дніпровський                    | 3110.3             | 881.401    | -2228.9  | 352.8814  | -  |
| Криворізький                    | 816.0              | 404.366    | -411.634   | 201.7974  | -  |
| Криничанський                   | 245.6              | 120.744    | -124.856   | 203.4056  | .  |
| Магдалинівський                 | 822.9              | 1560.294   | +737,394   | 52,74006  | -  |
| Межівський                      | 62.4               | 145.763    | -83.363  | 42.80922  | .  |
| Нікопольський                   | 557.0              | 397.479    | -159.521   | 140.1332  | .  |
| Новомосковський                 | 187.7              | 239.392    | +51.692  | 78.40696  | -  |
| Павлоградський                  | 33436.4            | 44805.668  | +11369.27  | 74.62538  | -  |
| Петриківський                   | 837.4              | 1237.208   | +399.808   | 67.68466  | -  |
| Петропавлівський                | 56220.7            | 48432.856  | -7787.84   | 116.0797  | -  |
| Покровський                     | 123.4              | 71.965     | -51.435  | 171.4722  | -  |
| Пятихатський                    | 294.3              | 158.95     | -135.35  | 185.1526  | -  |
| Синельниківський                | 370.9              | 116.843    | -254.057   | 317.4345  | -  |
| Солонянський                    | 107.9              | 77,114     | -30.786  | 139.9227  | -  |
| Софіївський                     | 148.1              | 108.327    | -39.773  | 136.7157  | -  |
| Томаківський                    | 195.7              | 210.261    | +14.561  | 93,0748   | -  |
| Царичанський                    | 221.9              | 236.048    | +14.148  | 94.0063   | .  |
| Широківський                    | 234.0              | 104.666    | -129.334   | 223.5683  | -  |
| Юр'ївський                      | 604.2              | 334.312    | -269.888   | 180.7294  | -  |

## ДОДАТОК Ж

Моніторингові дані основних підприємств-забруднювачі атмосферного повітря

Таблиця Ж. 1 – Основні підприємства-забруднювачі атмосферного повітря в Дніпропетровській області

| № з/п | Підприємство-забруднювач                                 | Валовий викид, тис. т |               | Зменш. /- Збільш. /+ (%) | Причина зменшення збільшення  |
|-------|--|-----------------------|---------------|--------------------------|---|
|       |  | 2016р./2017р.         | 2016р./2017р. |                          |   |
| 1.    | ВП "Придніпровська ТЕС" ПАТ "ДГЕК Дніпроенерго"          | 61.00                 | 24,0          | -60.66                   | Зменшення за рахунок: - зменшення обсягів виробництва електроенергії на 50,2%; - зменшення вмісту сірки в твердому паливі на 0,52%  |
| 2.    | ВП "Криворізька ТЕС" ПАТ "ДГЕК Дніпроенерго"             | 146.1                 | 48.1          | -67.08                   | Зменшення виробництва на 48%, сірчистості на 49%  |
| 3.    | ПАТ "Дніпровський меткомбінат"                           | 84.9                  | 52,5          | -38.16                   | Зменшення виробництва агломерату - 65,1%. чавуну - 45,9%, сталі- 43,8%. прокату - 31,82%  |
| 4.    | ПАТ "Нікопольський завод феросплавів"                    | 24.941                | 24.663        | -1,11                    | Зменшення викидів унаслідок зменшення обсягів виробництва при дотриманні технологічних нормативів викидів дія феросплавного та агломераційного виробництва  |
| 5.    | ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг"                           | 275.1                 | 263.0         | -4.40                    | Зменшення об'ємів виробництва основних видів продукції: чавуну на 8.0 % твердої сталі на 7,6 %; виробництво основних видів продукції на технологічних агрегатах та ГОУ, зв'язаних з ними, на яких проведена реконструкція і досягнуто державні нормативи викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (конвертери №№ 4. 5. 6. агломашинна № 6 АЦ № 2. ОП № 2 ВВЦ. ДП-6. 8. КБ -6. 6 ГОУ ДФ. з ГОУ РОФ-1.4 ГОУ РОФ-2 та ін.); переведення ДСПА-6 мартенівського цеху на роботу в режимі прямогоку |
| 6.    | ПАТ "Південний гірничо-збагачувальний комбінат"          | 50.121                | 44.827        | +10.56                   | Збільшення виробництва агломерату   |
| 7.    | ПАТ "Північний гірничо-збагачувальний комбінат"          | 8.993                 | 8.193         | -8.95                    | Виконання природоохоронних заходів, зменшення обсягів виробництва   |
| 3.    | ПрАТ "Євраз Дніпровський металургійний завод"            | 8,232                 | 7,439         | -9.63                    | Скорочення за рахунок зменшення виробництва чавуну, сталі, прокату та коксу   |
| 9.    | ПАТ ТНТЕРПАЙП Нижньодніпровський труо о прокатний завод" | 0,776                 | 1,152         | +48.45                   | Збільшення обсягів виробництва  |
| 10.   | ПАТ "Євраз ЮЖКОКС"                                       | 1,657                 | 1.547         | -6.64                    | Зменшення обсягів виробництва коксу 6% вологості  |
| 11.   | ПАТ "Євраз Дніпро дзержинський коксохімічний завод"      | 1,278                 | 1,336         | +4.54                    | Збільшення темпів виробництва   |
| 12.   | ПАТ "Покровський гірничо-збагачувальний комбінат"        | 3,223                 | 7.959         | +146.94                  | Збільшення валових викидів обумовлено тим, що у I-III кварталах 2016 року не працювала Богданівська збагачувально-агломераційна фабрика, яка дає до 80% вагових викидів підприємства та у зв'язку з проведенням інвеґаризації джерел викидів (додаткові джерела)  |

## ДОДАТОК 3

Таблиця 3. 1 – Розподіл часток пилу за розмірами на 13 кругових майданчиках поверхні фільтра № 220 у пробі, відібраної на посадочному майданчику клітьового стволу ВО «Шахта «Холодна Балка» ДП «Макеєввугілля»»

| $\delta$<br>мкм   | 32,4   | 21,6   | 17,3   | 12,9   | 10,8   | 8,64   | 6,48   | 4,32   | 2,16   | 1,08    | 0,216   | AMAD<br>мкм                 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|-----------------------------|
| $a$ ,<br>мкм      | 40,5   | 27     | 21,6   | 16,2   | 13,5   | 10,8   | 8,1    | 5,4    | 2,7    | 1,35    | 0,27    |                             |
| $\Delta i / N_i$  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10      | 11      | 12                          |
| 1                 |        |        |        | 3      | 3      | 3      | 15     | 40     | 62     | 76      | 142     | 5,40                        |
| 2                 |        |        |        | 1      | 1      | 5      | 27     | 107    | 115    | 255     | 282     | 5,40                        |
| 3                 | 1      |        |        | 1      | 2      | 9      | 18     | 33     | 46     | 114     | 181     | 5,40                        |
| 4                 |        | 1      | 1      | 3      | 2      | 5      | 21     | 35     | 59     | 273     | 108     | 7,560                       |
| 5                 |        |        | 2      |        | 2      | 1      | 21     | 33     | 64     | 118     | 50      | 5,40                        |
| 6                 |        | 1      |        | 4      | 3      | 4      | 9      | 53     | 61     | 60      | 74      | 9,720                       |
| 7                 |        | 1      |        | 3      | 5      | 10     | 18     | 75     | 104    | 35      | 91      | 7,560                       |
| 8                 |        |        |        | 3      | 3      | 5      | 13     | 31     | 49     | 34      | 64      | 7,560                       |
| 9                 |        | 2      | 2      | 2      | 2      | 7      | 24     | 36     | 55     | 18      | 60      | 11,80                       |
| 10                |        |        | 1      | 4      | 4      | 1      | 7      | 22     | 22     | 23      | 59      | 11,85                       |
| 11                |        |        | 2      | 8      | 2      | 7      | 19     | 29     | 40     | 46      | 64      | 11,85                       |
| 12                |        |        |        | 1      | 4      | 7      | 29     | 38     | 47     | 114     | 58      | 5,40                        |
| 13                |        | 1      | 1      | 2      | 4      | 10     | 25     | 35     | 53     | 86      | 135     | 7,56                        |
| $N\Delta i$       | 1      | 6      | 9      | 35     | 37     | 74     | 246    | 562    | 777    | 1252    | 1372    | $\Sigma=437$                |
| $m\Delta i$       | 34012  | 60468  | 46602  | 76159  | 46583  | 47722  | 130724 | 88515  | 15307  | 3080    | 27,03   | $\Sigma=549242$             |
| $\varphi(\delta)$ | 0,0619 | 0,1101 | 0,0848 | 0,1387 | 0,0848 | 0,0869 | 0,2380 | 0,1611 | 0,0279 | 0,0056  | 0,00006 | AMAD=<br>8,64-6,48<br>=7,56 |
| $D(\delta)$       | 0,9998 | 0,9378 | 0,8278 | 0,7431 | 0,6044 | 0,5196 | 0,4326 | 0,1946 | 0,0335 | 0,00566 | 0,00006 |                             |

## Продовження додатку 3

Таблиця 3. 2 – Розподіл часток пилу за розмірами на 13 кругових майданчиках поверхні фільтра № 218 у пробі, відібраної у районі конвеєрного ходка 4 західної розвантажувальної лави пласта ВО «Шахта «Холодна Балка» ДП «Макеєввугілля»

| $\delta$<br>мкм   | 32,4 | 21,6 | 17,3 | 12,9   | 10,8   | 8,64   | 6,48   | 4,32   | 2,16   | 1,08   | 0,216   | AMAD<br>мкм                 |
|-------------------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------------------------|
| $a$ ,<br>мкм      | 40,5 | 27   | 21,6 | 16,2   | 13,5   | 10,8   | 8,1    | 5,4    | 2,7    | 1,35   | 0,27    |                             |
| $\Delta i / N_i$  | 1    | 2    | 3    | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11      | 12                          |
| 1                 |      |      |      |        | 11     | 25     | 132    | 136    | 703    | 731    | 246     | 5,40                        |
| 2                 |      |      |      | 1      | 3      | 7      | 115    | 196    | 620    | 860    |         | 5,40                        |
| 3                 |      |      |      | 1      | 2      | 11     | 73     | 215    | 396    | 537    | 322     | 5,40                        |
| 4                 |      |      |      | 1      | 9      | 18     | 133    | 315    | 540    | 482    | 102     | 5,40                        |
| 5                 |      |      |      | 1      | 4      | 7      | 48     | 233    | 697    | 769    |         | 5,40                        |
| 6                 |      |      |      | 1      | 2      | 6      | 40     | 98     | 258    | 762    | 866     | 5,40                        |
| 7                 |      |      |      |        | 1      | 28     | 84     | 172    | 412    | 434    | 353     | 5,40                        |
| 8                 |      |      |      | 1      | 2      | 9      | 46     | 186    | 450    | 385    | 73      | 3,24                        |
| 9                 |      |      |      |        | 1      | 8      | 53     | 121    | 277    | 261    | 3       | 5,40                        |
| 10                |      |      |      | 1      | 1      | 12     | 65     | 151    | 370    | 355    | 125     | 5,40                        |
| 11                |      |      |      | 1      | 4      | 18     | 104    | 278    | 405    | 312    | 235     | 5,40                        |
| 12                |      |      |      | 1      | 2      | 11     | 49     | 167    | 322    | 288    | 213     | 5,40                        |
| 13                |      |      |      | 1      | 2      | 14     | 33     | 142    | 225    | 226    |         | 5,40                        |
| $N\Delta i$       |      |      |      | 10     | 44     | 174    | 1025   | 2510   | 5675   | 6402   | 2539    | $\Sigma=18379$              |
| $m\Delta i$       |      |      |      | 21770  | 55396  | 112212 | 544685 | 395325 | 111798 | 15749  | 50      | $\Sigma=1256985$            |
| $\varphi(\delta)$ |      |      |      | 0,0173 | 0,0440 | 0,0893 | 0,4333 | 0,3145 | 0,0889 | 0,0125 | 0,00004 | AMAD=<br>6,48-4,32<br>=5,40 |
| $D(\delta)$       |      |      |      | 0,9999 | 0,9826 | 0,9385 | 0,8492 | 0,4159 | 0,1014 | 0,0125 | 0,00004 |                             |

## Продовження додатку 3

Таблиця 3. 3 – Розподіл часток пилу за розмірами на 13 кругових майданчиках поверхні фільтра № 221 у пробі, відібраної у районі вентиляційного ходка 4 західної розвантажувальної лави пласта ВО «Шахта «Холодна Балка» ДП «Макєєввугілля»»

| $\delta$<br>мкм   | 32,4 | 21,6   | 17,3   | 12,9   | 10,8   | 8,64   | 6,48   | 4,32   | 2,16   | 1,08   | 0,216   | AMAD<br>мкм                 |
|-------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------------------------|
| $a$ ,<br>мкм      | 40,5 | 27     | 21,6   | 16,2   | 13,5   | 10,8   | 8,1    | 5,4    | 2,7    | 1,35   | 0,27    |                             |
| $\Delta i / N_i$  | 1    | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11      | 12                          |
| 1                 |      |        | 1      | 2      | 4      | 9      | 38     | 122    | 390    | 551    | 582     | 5,40                        |
| 2                 |      |        | 2      | 3      | 7      | 11     | 89     | 146    | 372    | 385    | 246     | 5,40                        |
| 3                 |      |        |        | 1      | 6      | 13     | 74     | 138    | 333    | 288    | 50      | 5,40                        |
| 4                 |      | 1      | 1      | 3      | 8      | 7      | 63     | 165    | 444    | 854    |         | 5,40                        |
| 5                 |      |        |        | 1      | 5      | 9      | 78     | 151    | 320    | 557    | 340     | 5,40                        |
| 6                 |      |        | 1      | 4      | 12     | 15     | 103    | 175    | 317    | 502    | 641     | 5,40                        |
| 7                 |      | 1      | 1      | 2      | 5      | 13     | 115    | 193    | 399    | 539    | 376     | 5,40                        |
| 8                 |      | 1      | 1      | 4      | 10     | 15     | 133    | 237    | 502    | 276    |         | 3,24                        |
| 9                 |      | 1      | 2      | 1      | 6      | 15     | 118    | 186    | 414    | 327    | 100     | 5,40                        |
| 10                |      |        |        | 1      | 3      | 6      | 94     | 168    | 373    | 306    | 449     | 5,40                        |
| 11                |      | 1      | 1      | 2      | 4      | 10     | 94     | 181    | 347    | 686    | 360     | 5,40                        |
| 12                |      |        | 1      | 3      | 5      | 11     | 68     | 147    | 363    | 480    | 191     | 5,40                        |
| 13                |      |        | 1      | 1      | 4      | 11     | 71     | 211    | 378    | 447    |         | 5,40                        |
| $N \Delta i$      |      | 5      | 12     | 28     | 79     | 145    | 1138   | 2220   | 4952   | 6198   | 3335    | $\Sigma=18112$              |
| $m \Delta i$      |      | 50390  | 62136  | 60956  | 99461  | 93510  | 604133 | 349650 | 97554  | 15247  | 65,7    | $\Sigma=1433703$            |
| $\varphi(\delta)$ |      | 0,0351 | 0,0433 | 0,0425 | 0,0694 | 0,0652 | 0,4218 | 0,2439 | 0,0680 | 0,0106 | 0,00004 | AMAD=<br>6,48-4,32<br>=5,40 |
| $D(\delta)$       |      | 0,9999 | 0,9648 | 0,9215 | 0,8790 | 0,8096 | 0,7444 | 0,3226 | 0,0787 | 0,0167 | 0,00004 |                             |

## Продовження додатку 3

Таблиця 3. 4 – Розподіл часток пилу за розмірами на 13 кругових майданчиках поверхні фільтра № 211 у пробі, відібраної у районі нижнього посадочного майданчику вентиляційного нахилоного квершлага на пласт ВО «Шахта «Холодна Балка» ДП «Макєєввугілля»»

| $\delta$<br>мкм     | 32,4     | 21,6     | 17,3     | 12,9     | 10,8     | 8,64     | 6,48     | 4,32     | 2,16     | 1,08      | 0,216     | AMAD<br>мкм                 |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------------------------|
| $a$ ,<br>мкм        | 40,5     | 27       | 21,6     | 16,2     | 13,5     | 10,8     | 8,1      | 5,4      | 2,7      | 1,35      | 0,27      |                             |
| $\Delta i/\text{№}$ | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b>                   |
| 1                   |          |          | 2        | 2        | 4        | 13       | 41       | 107      | 409      | 704       | 120       | 5,40                        |
| 2                   |          | 1        | 4        | 6        | 7        | 12       | 107      | 155      | 279      | 417       | 63        | 5,40                        |
| 3                   |          |          | 1        | 4        | 7        | 23       | 113      | 208      | 332      | 459       |           | 5,40                        |
| 4                   |          | 1        | 1        | 3        | 5        | 21       | 113      | 210      | 401      | 542       | 646       | 5,40                        |
| 5                   |          |          | 1        | 2        | 4        | 10       | 48       | 105      | 315      | 367       | 755       | 5,40                        |
| 6                   |          |          | 2        | 3        | 7        | 28       | 93       | 181      | 627      | 763       | 947       | 5,40                        |
| 7                   |          | 1        | 1        | 2        | 3        | 22       | 56       | 174      | 347      | 508       | 526       | 5,40                        |
| 8                   |          |          | 1        | 1        | 5        | 11       | 41       | 103      | 401      | 483       | 737       | 5,40                        |
| 9                   |          |          |          | 1        | 2        | 4        | 61       | 123      | 489      | 509       | 683       | 5,40                        |
| 10                  |          | 1        | 2        | 4        | 3        | 16       | 81       | 190      | 367      | 417       | 706       | 5,40                        |
| 11                  |          |          |          |          | 1        | 4        | 42       | 116      | 368      | 414       | 416       | 5,40                        |
| 12                  |          |          | 1        | 2        | 3        | 12       | 49       | 122      | 322      | 375       | 494       | 5,40                        |
| 13                  | 1        | 1        | 1        | 4        | 8        | 20       | 64       | 118      | 181      | 231       | 205       | 7,56                        |
| $N\Delta i$         | 1        | 5        | 17       | 34       | 60       | 200      | 909      | 1912     | 4838     | 5189      | 20468     | $\Sigma=20486$              |
| $m\Delta i$         | 34012    | 50390    | 88026    | 74018    | 75540    | 128980   | 483043   | 301140   | 95308    | 15225     | 124       | $\Sigma=1345806$            |
| $\varphi(\delta)$   | 0,0253   | 0,0374   | 0,0654   | 0,0545   | 0,0561   | 0,0958   | 0,3589   | 0,2238   | 0,0708   | 0,0113    | 0,00009   | AMAD=<br>6,48-4,32<br>=5,40 |
| $D(\delta)$         | 0,9999   | 0,9746   | 0,9372   | 0,8718   | 0,8168   | 0,7607   | 0,6649   | 0,3060   | 0,0822   | 0,0114    | 0,00009   |                             |

Позначення в таблицях 3.1 – 3. 4:

$\delta$ , мкм – розмір аеродинамічного ефективного діаметра частки,  $\delta = 0,8l$ ,

де  $l$  – довжина частки;

$N\Delta i$  – кількість часток пилу в діапазоні  $\Delta i$ ;

$m\Delta i$  – маса часток пилу в діапазоні  $\Delta i$ ;

$\varphi(\delta)$  – функція щільності розподілу маси пилу за діаметрами часток;

$D(\delta)$  – функція розподілу маси пилу за діаметрами часток

AMAD ( $\delta_{50}$ ) – аеродинамічний медіанний по активності діаметр маси часток.

## Акти впровадження



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ВСП «ШУ Дніпровське»

ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»



О.В.Аксьонов

02 2018 р.

## АКТ

Використання нових технічних рішень у проектних матеріалах  
ВСП «ЩУ «Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
«Шахта «Дніпровська»

с. Шахтарське

« 7 » 02 2018 р.

Ми, що нижче підписалися, виконуючий обов'язки начальника дільниці стаціонарного обладнання №2 Рябокін Д.О., завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та охорони праці д.т.н., професор Адаменко М. І., здобувач Дармофал Е. А. склали цей акт про наступне:

1. На ВСП «ШУ Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта «Дніпровська» проведено апробацію комбінованої системи фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтних викидів шляхом уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1 – 10 мкм) у шахтних викидах, за допомогою застосування на другій стадії очищення шахтного повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток 80-100%.

2. Запропоновано найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтного повітря при викидах його в атмосферу. Створено інформаційну модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів із заданими початковими та граничними умовами, які б дозволяли прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій.

ПІДПИСИ:

Д.О. Рябокін

М. І. Адаменко

Е. А. Дармофал

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ВСП «ЩУ «Першотравневе»

ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»

ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТА 1

О.І.Прихорчук

« 8 » 11 2019р.

## АКТ

Використання нових технічних рішень у проектних матеріалах  
ВСП «ЩУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
«Шахта «Ювілейна»

с. Миколаївка

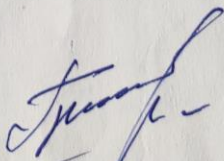
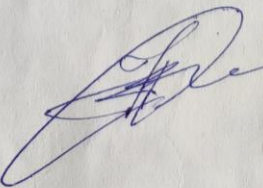
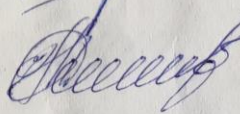
« 8 » 11 2019 р.

Ми, що нижче підписалися, начальник дільниці стаціонарного обладнання Грунович О.В., завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та охорони праці д.т.н., професор Адаменко М. І., здобувач Дармофал Е. А. склали цей акт про наступне:

1. На ВСП «ЩУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта «Ювілейна» проведено апробацію комбінованої системи фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтних викидів шляхом уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1 – 10 мкм) у шахтних викидах, за допомогою застосування на другій стадії очищення шахтного повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток 80-100%.

2. Запропоновано найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтного повітря при викидах його в атмосферу. Створено інформаційну модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів із заданими початковими та граничними умовами, які б дозволяли прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій.

ПІДПИСИ:

 О.В. Грунович  
 М. І. Адаменко  
 Е. А. Дармофал



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер

ВСП «ШУ Дніпровське»

ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»



О.В.Аксьонов

11 2017 р.

## АКТ

Використання нових технічних рішень у проектних матеріалах  
ВСП «ШУ «Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
«Шахта імені М.І. Сташкова»

с. Шахтарське

« 21 » 11 2017 р.

Ми, що нижче підписалися, начальник дільниці стаціонарного обладнання №1 Гусаров В.С., завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та охорони праці д.т.н., професор Адаменко М. І., здобувач Дармофал Е. А. склали цей акт про наступне:

3. На ВСП «ШУ Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта імені М.І. Сташкова» проведено апробацію комбінованої системи фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтних викидів шляхом уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1 – 10 мкм) у шахтних викидах, за допомогою застосування на другій стадії очищення шахтного повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток 80-100%.

4. Запропоновано найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтного повітря при викидах його в атмосферу. Створено інформаційну модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів із заданими початковими та граничними умовами, які б дозволяли прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій.

ПІДПИСИ:

Three handwritten signatures in blue ink, corresponding to the names listed to the right.


В.С. Гусаров

М. І. Адаменко

Е. А. Дармофал

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер  
 ВСП «ЩУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
 ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
 ДІЛЯ АСОУТРАНСПОРТА

 О.І.Прихорчук

« 8 » 11 2019р.

## АКТ

Використання нових технічних рішень у проектних матеріалах  
 ВСП «ЩУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»  
 «Шахта «Степова»

с. Миколаївка

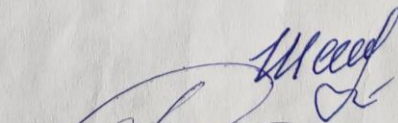

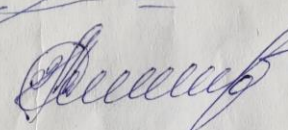
« 8 » 11 2019 р.

Ми, що нижче підписалися, начальник дільниці стаціонарного обладнання №1 Шпитько Э.Н., завідувач кафедри безпеки життєдіяльності та охорони праці д.т.н., професор Адаменко М. І., здобувач Дармофал Е. А. склали цей акт про наступне:

1. На ВСП «ЩУ «Першотравневе» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» «Шахта «Степова» проведено апробацію комбінованої системи фільтрації очищення екологічно небезпечних вентиляційних шахтних викидів шляхом уловлювання дрібнодисперсних фракцій пилу (1 – 10 мкм) у шахтних викидах, за допомогою застосування на другій стадії очищення шахтного повітря динамічного фільтра з ефективністю видалення дрібнодисперсних часток 80-100%.

2. Запропоновано найбільш раціональні режими очищення забрудненого пилом шахтного повітря при викидах його в атмосферу. Створено інформаційну модель розповсюдження забруднення атмосфери з шахтних викидів із заданими початковими та граничними умовами, які б дозволяли прогнозувати розподіл концентрації забруднювача у просторі та у часі практично для будь-яких можливих ситуацій.

ПІДПИСИ:

 Э.Н.Шпитько  
 М. І. Адаменко  
 Е. А. Дармофал





**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В. Н. КАРАЗІНА**

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, тел. +38 057 706-13-54, +38 057 707-52-31, факс +38 057 705-02-41  
E-mail: univer@karazin.ua, сайт: www.univer.kharkov.ua, код згідно з ЄДРПОУ 02071205

17.02.2021 № 0501-20  
на № \_\_\_\_\_

**Д О В І Д К А**

про впровадження результатів досліджень  
за темою дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Дармофал Елеонори Анатоліївни**

Результати дисертаційного дослідження Дармофал Елеонори Анатоліївни за темою дисертаційної роботи «Зниження техногенного навантаження на атмосферне повітря шляхом фільтрації шахтових викидів», яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека використані у навчальному процесі Навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при викладанні навчальної дисципліни «Екологічна безпека».

Проректор  
з науково-педагогічної роботи



Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ