

Біляєв М.М., Біляєва В.В., Берлов О.В., Козачина В.А

**CFD МОДЕЛЮВАННЯ
В АНАЛІЗІ ЕФЕКТИВНОСТІ
СИСТЕМ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА
ПРАЦІВНИКІВ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ**

Дніпро
Журфонд
2022

УДК 331.45: 519.6

Б61

Рецензенти

д-р техн. наук М.М. Налісько (ДВНЗ ПДАБА)

д-р техн. наук, проф. В.Д. Петренко (УДУНТ)

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Українського державного університету
науки і технологій*

М.М. Біляєв, В.В. Біляєва, О.В. Берлов, В.А. Козачина

Б61 CFD моделювання в аналізі ефективності систем захисту довкілля та працівників на робочих місцях. Журфонд: Дніпро, 2022. – 268 с.

ISBN 978-966-934-348-2

У монографії розглянуто питання розробки та оцінки ефективності систем захисту довкілля та працівників на робочих місцях від хімічного, шумового, пилового забруднень. Велику увагу приділено розробці математичних моделей для оцінки ефективності використання засобів захисту від пилового забруднення робочих зон біля транспортних магістралей та на об'єктах гірничого комплексу. Представлено результати розрахунку процесу дифракції ударної хвилі після вибуху на залізничній станції та забруднення атмосферного повітря при горінні ракетного палива.

Для студентів, аспірантів, наукових працівників, що спеціалізуються в галузі екологічної та промислової безпеки, охорони праці, моніторингу та охорони навколишнього середовища, математичного моделювання.

ISBN 978-966-934-348-2

© Біляєв М.М., Біляєва В.В.,
Берлов О.В., Козачина В.А., 2022 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ	6
1.1. Правові аспекти охорони праці в державі	6
1.2. Захист від хімічного та шумового забруднень робочих зон біля транспортних магістралей	7
1.3. Захист від забруднення робочих зон біля залізниць при виносу вугільного пилу з вагонів	12
1.4. Захист від забруднення робочих зон на об'єктах гірничопромислового комплексу	16
1.5. Математичні моделі в проблемі визначення рівня пожежного ризику	21
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАР'ЄРІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВПЛИВУ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ НА ПРАЦІВНИКІВ	25
2.1. Використання бар'єрів з додатковими елементами для зниження рівня хімічного забруднення в робочих зонах	25
2.2. Дослідження ефективності використання аксіального вентилятору для зниження рівня хімічного забруднення робочих зон	61
2.3. Тестування чисельних моделей	68
2.4. Використання захисних бар'єрів «TX Active» для зниження рівня хімічного забруднення в робочих зонах	72
2.5. Використання «TX Active» поверхні на будівлях для зниження рівня хімічного забруднення в робочих зонах	86
2.6. Оцінка ефективності використання бар'єрів для зниження шумового забруднення в робочих зонах	94
Розділ 3 ЗАХИСТ РОБОЧИХ ЗОН ВІД ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ ПРИ ВИНОСУ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ З НАПІВВАГОНІВ	107
3.1. Опис експериментальної установки	107
3.2. Дослідження ефективності застосування додаткових бортів з двома «крилами» для захисту робочих зон від забруднення	109
3.3. Дослідження ефективності застосування екрану з додатковим елементом для захисту робочих зон від забруднення	119
РОЗДІЛ 4 ЗАХИСТ РОБОЧИХ ЗОН ВІД ПИЛОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА ОБ'ЄКТАХ ГІРНИЧОГО КОМПЛЕКСУ	132
4.1. Захист робочих зон від пилового забруднення біля вугільного штабелю шляхом використання бар'єрів	132

4.2. Моделювання захисту робочих зон від пилового забруднення шляхом зволоження поверхні штабелю вугілля	156
4.3. Зменшення рівня пилового забруднення робочих зон при вибухах в кар'єрах	165
РОЗДІЛ 5 ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ТЕРМІЧНОГО УРАЖЕННЯ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ВИНИКНЕННІ ПОЖЕЖІ НА ПРОМИСЛОВИХ МАЙДАНЧИКАХ	184
5.1. Оцінювання ризику термічного ураження при пожежі на залізничній станції	184
5.2. Оцінювання ризику термічного ураження працівників при пожежі в умовах забудови	193
5.3. Моделювання роботи водяної завіси, що використовується для захисту працівників від термічного ураження	213
5.4. Моделювання процесу самонагрівання насипу рослинної сировини з метою прогнозування терміну початку пожежі	223
РОЗДІЛ 6 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДИФРАКЦІЇ УДАРНОЇ ХВИЛІ ПІСЛЯ ВИБУХУ	228
6.1. Математична модель надзвукового руху повітря	228
6.2. Побудова CFD моделі	229
6.3. Результати обчислювального експерименту	233
РОЗДІЛ 7 CFD МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ГОРІННІ РАКЕТНОГО ПАЛИВА ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ	234
7.1. CFD моделювання забруднення атмосферного повітря при горінні ТРП в сховищі	234
7.2. Результати обчислювального експерименту	236
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	247

ВСТУП

Згідно Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні (документ від 12 грудня 2018р. №989-р), актуальною проблемою в галузі охорони праці є забезпечення «механізму формування та функціонування дієвої системи запобігання виробничим ризикам...створення безпечних і здорових умов праці...». В цьому документі також підкреслюється важливість «оцінювання ризиків , яких не можна уникнути». Для рішення цієї важливої проблеми, особливо на етапі розробки систем захисту працівників від впливу шкідливих факторів, потрібно отримати адекватну інформацію щодо рівня небезпеки в робочих зонах. Далі, на базі цієї інформації, розробляються варіанти засобів захисту працівників для конкретних умов праці та виникає інша важлива проблема – оцінювання ефективності системи захисту на етапі проектування, тобто, до введення її в дію. Потрібно підкреслити, що в багатьох випадках системи захисту працівників від шкідливого впливу різних небезпечних факторів паралельно виконують функцію захисту довкілля – наприклад, захисні бар'єри тощо. Таким чином, задача оцінювання ефективності використання систем захисту є багатофункціональною та має прикладне значення в різних галузях.

Для розв'язку цих важливих задач потрібно мати ефективні методи розрахунку, оскільки фізичний експеримент, в багатьох випадках є дуже коштовним та потребує значного часу на проведення. Зараз в Україні, як правило, для розв'язку даних задач використовуються спрощені методи розрахунку, дія яких «розповсюджується» тільки на дуже спрощенні виробничі ситуації. Тому виникає нагальна потреба у розробці сучасних, високоефективних методів визначення рівня небезпеки в робочих зонах, що також дозволяють одночасно вирішувати задачі по визначенню ефективності використання різних засобів зниження впливу небезпечних факторів на працівників.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

В розділі виконано критичний огляд наукових джерел, що присвячені проблемі оцінювання рівня забруднення повітря в робочих зонах при різних виробничих ситуаціях.

1.1. Правові аспекти охорони праці в державі

Питанням охорони праці в Україні завжди приділялася значна увага [9, 40, 41, 45, 53, 56, 57, 59, 64, 70, 80, 91, 97]. Безпека життєдіяльності людини має гарантії в Конституції. Для реалізації цього конституційного права в Україні розроблена та впроваджена велика нормативно-правова база, що є основою для правового та практичного забезпечення охорони праці. В першу чергу потрібно відзначити Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів України про працю. До переліку важливих документів, що створені в державі також відносяться:

1. ДСТУ 2293:2014 відносно охорони праці, термінів та визначень основних понять.
2. ДСТУ 18001:2015, що регламентує систему управління гігієною та безпекою праці.
3. ДБН А.3.2-2-2009 стосовно системи стандартів безпеки праці.
4. ДСТУ 2293:2014 відносно охорони праці, термінів та визначень основних понять.
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 989-р, де запропонована Концепція, що «визначає основні напрями та завдання створення системи організації безпеки та гігієни праці в Україні на основі ризикоорієнтованого підходу для забезпечення впровадження стандартів Європейського Союзу».

На практиці, для реалізації положень, що сформульовані в правових документах, також потрібно мати інструментарій, що дає можливість на етапі

проектування, реконструкції різного роду промислових об'єктів заздалегідь визначати негативні фактори, їх рівень та можливий ризик здоров'ю в різних робочих місцях. Дуже важливим, також, є створення теоретичного інструментарію визначення ефективності засобів, що спрямовані на мінімізацію негативних факторів в робочих зонах. За допомогою цього інструментарію з'являється можливість «передбачати» ризик ураження працівників та розробити, вже на етапі проектування, науково-обґрунтовані засоби захисту людини від ураження. Також необхідно підкреслити, що в існуючій нормативній базі практично відсутні методи оцінювання ризику ураження працівників, які працюють на відкритій місцевості (робочі місця біля відвалів відходів, штабелів вугілля, кар'єрів тощо). Тому важливою науковою проблемою є створення теоретичного інструментарію, що дозволяє швидко та науково-обґрунтовано визначати якість повітряного середовища в робочих зонах різноманітних промислових об'єктів з метою оцінки можливого ризику для здоров'я працівників.

1.2. Захист від хімічного та шумового забруднень робочих зон біля транспортних магістралей

Як відомо, біля різного роду транспортних магістралей (автотраси, залізнична колія тощо) розташована значна кількість робочих зон, де працюють співробітники, як транспортних служб, так і інших організацій. Ці робочі зони потрапляють під негативний вплив транспортних магістралей, і в першу чергу, має місце хімічне та шумове забруднення. Тому виникає важлива проблема захисту робочих зон від забруднення, що розташовані поблизу транспортних шляхів.

Відзначимо наступне: для розробки систем захисту робочих зон від хімічного або шумового забруднень, в першу чергу, потрібно визначити рівень цього забруднення. Особливо це є важливим, коли має місце реконструкція старої, будівництво нової магістралі або планується зміна величини транспортних потоків. Тобто, виникає ситуація коли неможливо здійснити

замір рівня забруднення на об'єкті. Тоді основним інструментом розв'язку цієї задачі є математичне моделювання. Прогнозування хімічного забруднення в робочих зонах біля автомагістралей відноситься, в цілому, до задачі масопереносу. Тому для рішення цієї задачі, а також задачі оцінювання шумового забруднення біля транспортних магістралей, використовуються емпіричні моделі, модель Гауса, аналітичне рішення рівняння масопереносу [2, 17, 38, 39, 47, 55, 73, 100]. Емпіричні моделі являють собою алгебраїчні співвідношення, що пов'язують, наприклад, концентрацію забруднювача на певній відстані від магістралі з деякими параметрами, що, на думку розробника моделі, суттєво впливають на рівень забруднення. Побудова емпіричних моделей базується на обробці даних експериментальних досліджень (рис. 1.1).



H.L. Brantley et al. / Science of the Total Environment 468–469 (2014) 120–129

Рисунок 1.1. Локація точок для виміру концентрації забруднювача біля транспортної магістралі [129]

Емпіричні моделі дуже зручні для практичного користування, тому що дозволяють швидко отримати необхідні дані, але мають ряд недоліків:

1. Моделі використовуються для випадків, що подібні умовам, при яких проводився експериментальний вимір на існуючому об'єкті.

2. Ряд параметрів моделі не мають фізичного пояснення, перевірка таких параметрів дуже складна.

3. Модель може використовуватися лише в діапазоні тих параметрів, що існували при проведенні експерименту (наприклад, для певних значень швидкості повітря).

4. Моделі дають «точковий» результат, тобто значення невідомої величини для певної точки біля магістралі, але не розподіл (поле) цієї величини.

5. Моделі не дозволяють врахувати ряд специфічних факторів, наприклад, рельєф місцевості. При наявності такої «проблеми» в моделі використовують спеціальні коефіцієнти для оцінювання впливу рельєфу на рівень забруднення. Тобто, вплив рельєфу здійснюється опосередковано.

Модель Гауса, моделі, що базуються на аналітичному рішенні рівняння масопереносу [7, 38, 39, 46, 76, 77, 90, 102, 104, 105, 145, 149, 153], реалізовані у вигляді прикладних пакетів програм, наприклад, «ALONA» [103, 147, 161, 174], дозволяють швидко визначити розмір зон хімічного забруднення, але не враховують вплив різного роду перешкод (наприклад, захисних бар'єрів) на формування зон забруднення.

Найбільш потужним інструментом теоретичного розв'язку задач по оцінюванню рівня забруднення робочих зон є використання CFD моделювання [3, 4, 5, 13, 16, 18, 72, 75, 82, 96, 102, 120, 121, 122, 123, 133, 134, 135, 142, 156, 157, 173, 176]. Визначення концентрації домішки, рівня шумового забруднення тощо в цих моделях здійснюється на базі фундаментальних рівнянь механіки суцільного середовища (рівняння Ейлера, рівняння Нав'є-Стокса, рівняння для потенціалу швидкості, рівняння акустики, рівняння теплопереносу). Наприклад, на рис.1.2 показано поле акустичного тиску, що було отримано методом CFD моделювання [138].

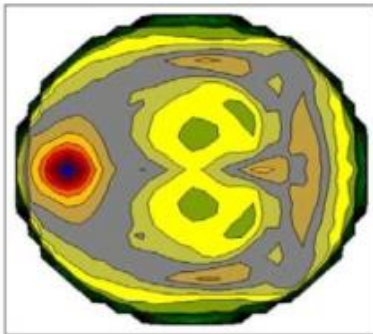


Рисунок 1.2. Поле акустичного тиску, що отримано методом CFD моделювання [138]

Побудова CFD моделей базується на використанні чисельних методів інтегрування моделюючих рівнянь. Слід підкреслити, що історично, за кордоном частіше для побудови CFD моделей використовується метод кінцевих елементів, а в Україні – метод кінцевих різниць. На практиці, як правило, використовуються готові, комерційні пакети програм для CFD моделювання (ANSYS CFX, ANSYS Fluent, COMSOL та інші, рис. 1.2) [98, 99].

Перевагами методу CFD моделювання є можливість проводити теоретичні дослідження майже без обмежень на геометрію розрахункової області, враховувати значну кількість параметрів, що впливають на формування зон забруднення, та проводити дослідження для випадків, що дуже важко або неможливо дослідити експериментальним шляхом. Але існують також недоліки при використанні даного методу дослідження:

1. Висока вартість комерційних пакетів для проведення CFD моделювання.
2. Високі вимоги до потужностей РС.
3. Необхідність мати ліцензію на проведення досліджень за допомогою комерційного пакету програм.
4. Значна кількість часу на проведення розрахунків (тривалість розв'язку однієї задачі може займати кілька діб).

Слід підкреслити, що в Україні існує певний дефіцит авторських CFD моделей, зокрема при визначенні хімічного та шумового забруднення біля транспортних магістралей. Це пов'язано з наступним:

1. Авторська (самостійна) розробка CFD моделі потребує певної кваліфікації дослідника, особливо, якщо створюється CFD модель, що має широкий робочий діапазон.

2. Значна кількість часу йде на розробку комп'ютерної програми, її тестування, налагодження (якщо створюється авторська CFD модель).

Також аналіз літературних джерел показав, що існуючі в Україні CFD моделі [83] орієнтовані на розв'язок вузьких спеціалізованих задач.

Далі, було виконано аналіз існуючих методів захисту робочих зон, що розташовані поблизу транспортних магістралей. На підставі наукових публікацій [144, , 146, 152, 159, 164, 166, 178, 179] було виявлено такі засоби захисту від забруднення робочих зон біля транспортних магістралей:

1. Використання спеціальних засобів придушення пилу на магістралі.
2. Використання рослинності.
3. Використання захисних бар'єрів (рис. 1.3).



Рисунок 1.3. Вертикальний захисний бар'єр [159]

4. Використання відсмоктуючих пристроїв біля траси.
5. Використання пористого асфальту.

6. Використання спеціального покриття при будівництві траси (при виробництві такого покриття використовується TiO_2), що дозволяє «нейтралізувати» домішку (рис.1.4)



а) – блоки, що містять TiO_2 як додаток; б) – дорога з поглинаючим покриттям

Рисунок 1.4. Використання спеціального покриття на дорозі [159]

Вибір конкретного засобу захисту робочих зон від забруднення потребує наукового обґрунтування його ефективності на стадії розробки проекту. Тому, дуже важливим є створення методів теоретичного оцінювання ефективності конкретного методу захисту при використанні його для конкретних умов експлуатації, оскільки проведення фізичних експериментів потребує значного часу.

1.3. Захист від забруднення робочих зон біля залізниць при виносу вугільного пилу з вагонів

Винос вугільного пилу з вагонів створює масштабне забруднення робочих зон біля залізниці (рис.1.5). Під вплив цього забруднення потрапляють проходчики, зчіплювачі вагонів, чергові по станції та інші працівники.



Рисунок 1.5. Забруднення повітря при виносу вугільного пилу з вагонів [44]

Внаслідок цього виникає важлива задача – зменшення інтенсивності виносу вугільного пилу з вагонів. Аналіз літературних джерел з цієї проблеми показав, що у теперішній час для зменшення інтенсивності виносу вугільного пилу з вагонів найчастіше використовуються наступні методи [16, 44, 63, 88, 108, 139, 140]:

1. Використання спеціального обладнання для ущільнення вугілля в вагоні (рис.1.6).
2. Використання брезенту на вагоні у якості «кришки» над вантажем.
3. Використання металевих кришок на вагоні.
4. Використання дефлекторів на корпусі вагона.
5. Зволоження вантажу.
6. Покриття вугілля спеціальним розчином.



Рисунок 1.6. Устаткування для ущільнення вугілля

Аналіз літературних джерел показує, що методи, що перераховані вище, мають ряд суттєвих недоліків [16]:

1. Для ряду методів необхідно виготовлення, монтаж та використання спеціального устаткування (наприклад, устаткування для проведення зволоження поверхні вантажу, устаткування для ущільнення вугілля в вагоні, устаткування для розподілу спеціальних розчинів на поверхню вантажу). Це підвищує вартість транспортування вугілля.

2. Установка дефлекторів на вагоні або використання додаткової кришки потребує виведення вагону з експлуатації на деякий час та відведення вагону на завод для виконання ряду технологічних операцій, що потребує часу та приводить до збільшення вартості вагону, а значить – вартості перевезення вантажу.

3. При зволоженні вантажу, з часом має місце випарювання води з поверхні вугілля та збільшення процесу пилоутворення.

4. При використанні спеціальних розчинів, з часом, внаслідок вібрації вагону, має місце руйнування плівки та зменшення сил адгезії між частками вантажу, що приводить до збільшення процесу пилоутворення.

5. Брезент, під дією потоку повітря, може злетіти з вагону та створити аварійну ситуацію.

Слід вказати, що, в останній час, збільшився інтерес до іншого методу зменшення виносу пилу з вагонів. Цей метод полягає у використанні на вагонах додаткових бортів [16], що дозволяють за малий кошт ефективно зменшити пилоутворення в вагоні при перевезенні вугілля.

В цілому, проблема захисту від забруднення робочих зон внаслідок виносу вугільного пилу з вагонів є дуже складною. По-перше, інтенсивність виносу пилу, а значить рівень забруднення робочих зон залежить від багатьох факторів (швидкість потягу, швидкість повітряного потоку, форма вантажу та таке інше). По-друге, проведення натурних експериментів для пошуку рішення цієї проблеми потребує значного часу на постановку експерименту, використання дуже коштовного обладнання, складність вимірювання кількості пилу, що

вноситься з вагону, значні витрати часу на обробку експериментальних даних. Але, основна проблема експериментального дослідження полягає в тому, що неможливо в натурних умовах досить точно визначити кількість пилу, що вноситься з поверхні вантажу. Це пов'язано з масштабом досліджуваного об'єкту (вагону або декількох вагонів). Тому, більш поширеним є використання лабораторного експерименту для дослідження процесів вносу пилу з вагонів (рис.1.7, 1.8).



Рисунок 1.7. Лабораторне дослідження вносу вугільного пилу з вагонів

[140]



Рисунок 1.8. Лабораторне дослідження вносу вугільного пилу з вагону

[128]

Для проведення комплексних досліджень по визначенню ефективності використання того чи іншого методу захисту від пилового забруднення робочих зон, дуже важливо використовувати не тільки метод фізичного моделювання,

але і метод математичного моделювання [16]. Це дозволяє визначати ефективність методу захисту для більш широкого діапазону параметрів, що впливають на процес виносу вугільного пилу. Але, для цього потрібно мати спеціалізовані математичні моделі, що дозволяють враховувати ті суттєві фактори, що впливають на пилоутворення. Аналіз літературних джерел показав існування обмеженої кількості таких спеціалізованих моделей як в Україні, так і в світі [16].

1.4. Захист від забруднення робочих зон на об'єктах гірничопромислового комплексу

Функціонування гірничопромислового комплексу пов'язано з дуже інтенсивним забрудненням повітря в різних робочих зонах. Однією з відомих проблем є забруднення робочих зон біля штабелів вугілля (рис. 1.9).



Рисунок 1.9. Штабель вугілля

Штабеля створюються для зберігання вугілля в портах, на підприємствах та таке інше. Під впливом повітряного потоку має місце відрив часток вугільного пилу від поверхні штабелю та його розповсюдження на достатньо значну довжину, що приводить до пилового забруднення багатьох робочих зон. У зв'язку з цим виникає дуже важлива задача – зниження рівня пилового забруднення в робочих зонах біля штабелів вугілля. Для зменшення

інтенсивності виносу вугільного пилу від штабелів найчастіше використовуються наступні методи [64, 131]:

1. Використання захисних екранів біля штабелю.
2. Зволоження поверхні штабелю (рис.1.9).
3. Покриття поверхні штабелю спеціальним розчином.

Винос вугільного пилу від поверхні штабелів залежить від таких факторів:

1. Форми штабелю.
2. Вологості вугілля.
3. Швидкості та напрямку повітряного потоку.
4. Присутності поблизу штабелю різного роду перешкод.

Для аналізу інтенсивності забруднення робочих зон біля штабелів вугілля та для визначення ефективності застосування методів захисту використовуються метод фізичного моделювання, модель Гауса (для розрахунку розмірів зон забруднення, але без врахування геометричної форми штабелю), CFD моделювання [94, 112, 169, 170-172].

Іншою, великою проблемою, є проблема забруднення повітря в робочих зонах при вибухах в кар'єрах (рис.1.10).



Рисунок 1.10. Формування пилової хмари при вибуху в кар'єрі

Для зменшення інтенсивності забруднення повітря в робочих зонах при вибухах в кар'єрі найбільш поширено використовується [47, 62, 101]:

1. подача води в пилову хмару.
2. Використання рослинності.

Проведення експериментальних досліджень по визначенню рівня забруднення робочих зон з метою отримання систематизованої інформації є дуже складною задачею, що обумовлено масштабом цього явища [55, 79]. Для оцінювання концентрації пилу при вибухах можливо використовувати методику НДБПГ [55], але ця методика не враховує форму кар'єру та форму хмари. Іншим підходом є використання аналітичних моделей [55], але вони також мають суттєві обмеження (точковий викид, нема врахування форми хмару, рельєфу тощо). Тому, актуальною проблемою є створення математичних моделей процесів забруднення повітря в робочих зонах при вибухах в кар'єрах для розв'язку наступних задач:

1. Прогнозування динаміки забруднення повітря при русі газопилової хмари.
2. Оцінювання ефективності захисних методів, що розробляються для зменшення рівня забруднення повітря в робочих зонах.

Особливо важливо відзначити, що зараз в Україні не існує методики оцінювання ефективності пилогасіння [55].

Слід підкреслити, що теоретичне визначення ефективності методів, що розробляються для забезпечення нормального мікроклімату біля штабелів вугілля або при вибухах в кар'єрах, можливе лише за допомогою CFD моделювання. Це обумовлено наступними причинами:

1. Аналітичні моделі (наприклад, пакет SLAB, розробка США), моделі Гауса (наприклад, пакет AERMOD, розробка США) не враховують нерівномірне поле швидкості повітря, тому не можуть бути використані для отримання обґрунтованих даних щодо поширення домішки в робочих зонах.
2. Аналітичні моделі, моделі Гауса враховують джерело викиду домішки (пил, метан та таке інше) лише як «точку», тобто, наприклад, форма виїмки, форма штабелю вугілля або форма кар'єру у цьому випадку не враховуються. Це означає, що при моделюванні не виконується геометрична подoba явищ.

3. Гаусові моделі та аналітичні моделі не враховують режим викиду пилу (наприклад, інтенсивність виділення пилу від різних частин штабелю вугілля різна, та залежить від локальної швидкості повітря біля поверхні штабелю).

Гаусові моделі та створені на їх основі комерційні пакети програм використовуються для оцінювання впливу джерел емісії (штабеля вугілля, відвали та таке інше) на інтенсивність забруднення повітря на достатній довжині від джерела забруднення [170], а не в робочих зонах, що розташовані біля джерел забруднення.

Як свідчать результати системного аналізу закордонних публікацій, в теперішній час в світі особлива увага приділяється створенню CFD моделей для визначення рівня забруднення робочих зон та їх захисту на об'єктах гірничої промисловості. За кордоном, CFD моделі стають, по суті, основним методом теоретичного дослідження, коли є необхідність визначити закономірності формування зон забруднення та ефективність того або іншого методу захисту робочих зон. Наприклад, на рис.1.11 показано розрахункову область в задачі про CFD моделювання захисту робочих зон від пилового забруднення при використанні біля штабелю вугілля захисного екрану, а на рис.1.12 наведено зону забруднення біля штабелю, що була отримана методом CFD моделювання. На рис. 1.13 показано результати CFD моделювання в задачі про провітрювання кар'єру.

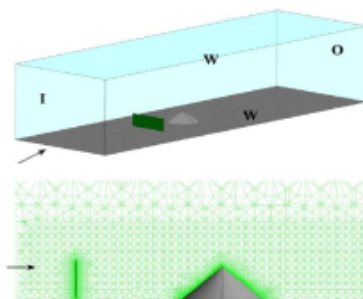


Рисунок 1.11. Формування розрахункової області в задачі про CFD моделювання забруднення повітря біля штабелю [173]

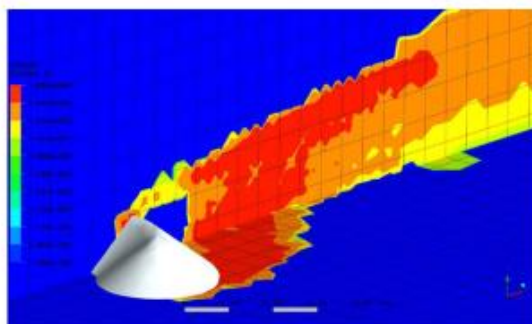


Рисунок 1.12. CFD моделювання забруднення повітря біля штабелю[135]

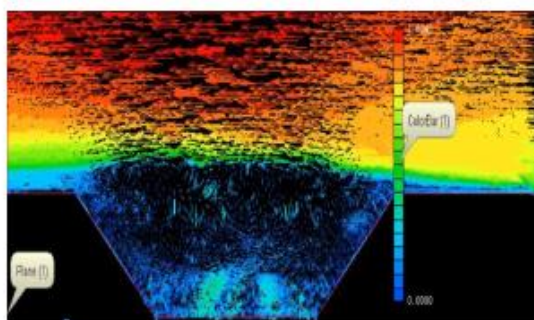


Рисунок 1.13. CFD моделювання в задачі про забруднення повітря в кар'єрі [126]

Таким чином, можна стверджувати, що в рамках даного класу задач, за кордоном, основним методом розв'язку є метод CFD моделювання. На закінчення відзначимо, що критичний аналіз літературних джерел дає підставу для висновку, що в Україні існує обмежена кількість CFD моделей, що можна використовувати для розв'язку таких складних багатопараметричних задач визначення рівня небезпеки в робочих зонах підприємств гірничого комплексу.