

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



БІЛЯЄВА ВІКТОРІЯ ВІТАЛІЇВНА

УДК 66.013.8:[504.5:623 459](043.5)

НАУКОВІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ ТА ЗАХИСТУ
ПРАЦІВНИКІВ НА ОБ'ЄКТАХ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

05.26.01 – охорона праці

Реферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дніпро – 2022

Дисертацією є рукопис.

Опоненти:

доктор технічних наук, професор **Глива Валентин Анатолійович**, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри фізики;

доктор технічних наук, професор **Болібрux Борис Васильович**, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри цивільної безпеки;

доктор технічних наук, доцент **Сукач Сергій Володимирович**, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, завідувач кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою.

Захист відбудеться 09 лютого 2023 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 з присудження наукового ступеня доктора наук при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а) та на сайті: <https://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Вячеслав КОВАЛЬОВ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Сутність науково-прикладної проблеми, що розглядається в роботі, полягає в розробленні інструментарію оцінювання рівня небезпеки в робочих зонах на території об'єктів паливно-енергетичного комплексу та визначення ефективності зниження рівня хімічного і пилового забруднення повітря шляхом моделювання процесів та використання спеціальних інженерних рішень.

Актуальність теми. Згідно з Концепцією реформування системи управління охороною праці в Україні, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 р. № 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. У цьому документі також наголошується на важливості оцінювання ризиків, яких не можна уникнути. Для вирішення цієї важливої проблеми, особливо на етапі розроблення систем захисту працівників від впливу шкідливих факторів, потрібно отримати адекватну інформацію щодо рівня небезпеки в робочих зонах.

Паливно-енергетичний комплекс України належить до стратегічних та потенційно небезпечних об'єктів. Під час функціонування різних об'єктів цього комплексу, у ході транспортування палива, його зберігання відбувається виникнення шкідливих факторів у робочих зонах, що призводить до появи професійних захворювань у працівників та не відповідає вимогам законодавства з охорони праці. Тому оцінювання шкідливих факторів і захист працівників на об'єктах паливно-енергетичного комплексу є важливою науковою проблемою. Для її розв'язання необхідно запропонувати сучасні високоефективні методи визначення рівня небезпеки в робочих зонах, що дозволяють одночасно вирішувати задачі з визначення ефективності використання різних засобів зниження впливу небезпечних факторів на працівників.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконувалося згідно із Законом України «Про затвердження Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки» від 04 квітня 2013 року № 178-VII, розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації» від 12 грудня 2018 р. № 989-р.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є розроблення теоретичного інструментарію для встановлення закономірностей розподілу шкідливих факторів у робочих зонах на об'єктах паливно-енергетичного комплексу та розроблення засобів, що дозволяють зменшити їх негативний вплив.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити такі завдання дослідження:

– виконати аналіз та дослідження основних шкідливих факторів, які наявні при функціонуванні паливно-енергетичного комплексу (на прикладі Придніпровської теплової електростанції);

– здійснити моделювання процесів хімічного, пилового, термічного та шумового забруднення робочих зон на об'єктах паливно-енергетичного комплексу і розробити інструментарій, який включає цілу низку чисельних моделей;

– розробити чисельні моделі для визначення закономірностей формування областей забруднення в робочих зонах на промислових майданчиках підприємств при інверсії та штилі, що дозволяють швидко виявляти зони небезпеки, які формуються за несприятливих метеоумов;

– розробити багатопараметричну чисельну модель для оцінювання пилового забруднення повітря всередині автотранспорту, що рухається забрудненою територією теплової електростанції (ТЕС);

– розробити динамічні чисельні моделі для оцінювання ефективності знепилення повітря в робочих зонах біля штабеля вугілля шляхом подавання води в пилову хмару або шляхом зволоження поверхні штабелів вугілля, що розташовані на об'єктах паливно-енергетичного комплексу;

– розробити інженерний метод розрахунку процесу «захоплення» краплею води часток пилу при поширенні крапель води в пиловій хмарі, що дозволяє здійснювати оцінювання ефективності такого роду знепилення повітря в робочих зонах;

– розробити динамічні чисельні моделі для оцінювання ефективності комплексного використання вентиляторів із бар'єрами та екранами для зниження рівня забруднення повітря в робочих зонах;

– на базі розроблених чисельних моделей виконати дослідження з визначення ефективності використання бар'єрів складної геометричної форми, а також бар'єрів, що мають «TX Active» поверхню та розташовуються поруч із автомобільними дорогами, з метою зменшення рівня забруднення повітря в робочих зонах;

– здійснити експериментальні дослідження з визначення ефективності використання на вагонах, якими здійснюють транспортування вугілля, спеціальних бортів та екранів із метою зниження рівня пилового забруднення робочих зон біля колії; створити чисельні моделі для визначення ефективності цих засобів захисту шляхом обчислювального експерименту;

– виконати експериментальні дослідження з визначення впливу екранів спеціальної форми на зниження рівня пилового забруднення робочих зон біля штабеля вугілля та розробити багатofакторну чисельну модель для визначення ефективності використання цих екранів для конкретних умов експлуатації;

– розробити чисельну модель для оцінювання ефективності використання шумозахисних екранів для залізничної мережі підприємств, що дозволяє врахувати складну геометричну форму екранів, рельєф місцевості;

– розробити динамічну багатопараметричну чисельну модель для оперативного оцінювання ризику виникнення пожежі в сховищах палива, що має рослинне походження, та динамічну чисельну модель для оцінювання ефективності водяної завіси, що дозволяє комплексно врахувати вплив вітру,

дифузії, швидкість випарювання крапель води, наявність будівель у зоні пожежі на об'єктах паливно-енергетичного комплексу;

- розробити метод розв'язання двох пов'язаних задач: визначення закономірностей формування зон теплового забруднення повітря в робочих приміщеннях при припливі в них зовнішнього нагрітого повітря від місця пожежі та розрахунку нагрівання конструкцій споруд при їх взаємодії з потоком нагрітого повітря, що дозволяє прогнозувати час руйнування конструкції;

- розробити багатофакторну чисельну модель для оцінювання ризику термічного або хімічного ураження водолазів під час виконання аварійно-ремонтних робіт на пошкоджених підводних трубопроводах;

- здійснити верифікацію розроблених чисельних моделей;

- створити комп'ютерні коди на базі розроблених чисельних моделей та виконати обчислювальні експерименти.

Об'єкт дослідження: процеси формування забруднення в робочих зонах при роботі об'єктів паливно-енергетичного комплексу.

Предмет дослідження: встановлення закономірностей розподілу шкідливих факторів у робочих зонах та розроблення інженерних методів зниження їх негативного впливу на працівників.

Методи дослідження: системний аналіз та узагальнення відомих наукових результатів (для обґрунтування актуальності теми дослідження, постановки мети і завдань дослідження; для формування передумов, обмежень і гіпотез, прийнятих при розробленні методу); виконання експериментальних досліджень; використання методу CFD-моделювання на базі побудованих чисельних моделей, що дозволяють дослідити багатофакторні процеси хімічного, пилового та теплового забруднення робочих зон. Основу побудованих чисельних моделей створюють фундаментальні рівняння механіки суцільного середовища та тепломасопереносу. Для побудови чисельних моделей використовувалися скінченно-різницеві методи інтегрування моделюючих рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обґрунтуванні оцінки рівня небезпеки в робочих зонах на території об'єктів паливно-енергетичного комплексу та визначенні ефективності застосування засобів захисту з урахуванням моделювання процесів забруднення робочих зон та спеціальних інженерних рішень, а саме:

вперше:

- розроблено науково-методичний інструментарій прогнозування формування шкідливих факторів у робочих зонах та оцінювання ефективності впровадження заходів захисту на базі вискоефективних CFD-моделей;

- науково обґрунтовано ефективність використання екранів спеціальної форми, які розташовують біля штабеля вугілля з метою зниження рівня пилового забруднення робочих зон на промислових майданчиках; для обґрунтування параметрів цих екранів розроблено метод розрахунку концентрації пилу в робочих зонах, який враховує форму штабеля вугілля, форму екрану, метеоумови;

– розроблено комплексну методологію оцінювання ефективності зволоження поверхні штабеля вугілля та подавання води в пилову хмару біля штабеля, що здійснюються для створення нормальних умов праці на промислових майданчиках;

– розроблено комплексну методологію оцінювання ефективності використання водяної завіси, що застосовується для забезпечення вимог охорони праці шляхом екранування теплових потоків, які виникають під час пожежі; методологія дозволяє прогнозувати зниження температури повітря біля джерела пожежі з урахуванням динаміки випарювання крапель води, місця створення завіси, метеоумов, наявності будівель біля місця пожежі;

– розроблено метод, що дозволяє виконувати дослідження щодо визначення ефективності використання шумозахисних екранів, які встановлюють біля залізничної колії; метод дозволяє враховувати складну геометричну форму екранів, їхнє положення відносно джерела шуму, рельєф місцевості;

– науково обґрунтовано ефективність використання бар'єрів спеціальної форми, які розташовують біля автомагістралей з метою зниження рівня хімічного забруднення робочих зон; для обґрунтування параметрів цих бар'єрів створено інструментарій, що базується на використанні розроблених чисельних моделей та дозволяє визначати концентрацію забруднюючих речовин у робочих зонах з урахуванням форми бар'єрів, рельєфу, положення джерела емісії, хімічної трансформації домішок, метеоумов;

– розроблено багатофакторну чисельну модель для оцінювання ризику хімічного або термічного ураження водолазів під час виконання ремонтних робіт на пошкоджених підводних трубопроводах; модель дозволяє враховувати гідродинаміку течії водного потоку, інтенсивність емісії хімічно небезпечної речовини з пошкодженого підводного трубопроводу, геометричну форму підводної траншеї, де розташовано трубопровід, температуру води біля пошкодженого підводного трубопроводу;

дістали подальший розвиток:

– інженерний метод розрахунку процесу «захоплення» краплею води часток пилу, що дозволяє врахувати динаміку «приєднання» часток пилу до краплі залежно від фізичних параметрів краплі, концентрації часток пилу та крапель, їх руху в повітряному середовищі й здійснити більш коректну оцінку ефективності знепилення повітря в робочих зонах;

– методологічні засади технології зниження рівня пилового забруднення в робочих зонах за рахунок застосування спеціальних бортів та екранів складної форми на вагонах, що транспортують вугілля; розроблено метод для оцінювання ефективності використання таких засобів зменшення виносу пилу з вагонів;

– математична модель прогнозування інтенсивності забруднення в робочих зонах промислових майданчиків при інверсії та штилі, що дає можливість оперативно визначити концентрації забруднюючих речовин з урахуванням розміру джерела емісії шкідливих речовин, профілю швидкості вітру, напрямку вітру;

- математична модель для оцінювання пилового забруднення повітря всередині автотранспорту, що рухається територією ТЕС; модель дозволяє, на відміну від існуючих, швидко здійснити розрахунок рівня пилового забруднення повітря з урахуванням аеродинаміки повітряного потоку на робочих місцях у автотранспорті;

- математична модель оцінювання ефективності використання всмоктувальних пристроїв (вентиляторів) для зниження рівня забруднення повітря біля автотрас; модель дозволяє, на відміну від існуючих, швидко враховувати різне положення всмоктувальних поверхонь, вплив корпусу автотранспорту на аеродинаміку повітряного потоку та поширення домішки в робочих зонах;

удосконалено:

- математичну модель для експрес-оцінювання ризику виникнення пожежі в сховищах унаслідок самонагрівання палива, що має рослинне походження; модель дозволяє швидко розрахувати розвиток теплового поля в насипу палива з урахуванням форми насипу, температури навколишнього середовища, теплофізичних властивостей палива;

- метод розрахунку теплового забруднення повітря в робочих приміщеннях при припливі в них нагрітого повітря та розрахунку нагрівання конструкцій споруд при взаємодії з потоком нагрітого повітря, що дозволяє врахувати форму споруд, метеоумови, форму робочого приміщення, теплофізичні параметри матеріалів конструкції.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблений комплекс математичних моделей, методів та алгоритмів є підставою для обґрунтування організаційно-технічних заходів, які спрямовані на зниження негативного впливу шкідливих факторів на підприємствах паливно-енергетичного комплексу України в разі їх виникнення під час функціонування об'єктів або виявлення на стадії проєктно-дослідницьких робіт, що спрямовані на вдосконалення методів зниження негативних факторів на працівників.

Використовуючи отримані в роботі математичні моделі та методи з програмно-реалізованими алгоритмами, можна визначити гранично допустимі значення чинників для запобігання виникненню професійних захворювань та травмуванню працівників і вдосконалити засоби та методи захисту працівників, а саме:

- на базі створених чисельних моделей розроблено пакети прикладних програм (коди), що дозволяють методом обчислювального експерименту визначати закономірності формування областей хімічного, пилового та теплового забруднення в робочих зонах на об'єктах паливно-енергетичного комплексу. Вони не вимагають значного часу на розробку, установку, мають помірну вартість. Для практичного використання методів зниження рівня хімічного та пилового забруднення робочих зон не потрібно застосовувати спеціальне обладнання;

- виконання обчислювальних експериментів на базі створених чисельних моделей дозволяє зменшити роль дорогого фізичного експерименту при розв'язанні складних прикладних задач, що пов'язані з визначенням рівня

небезпеки для здоров'я працівників при дії промислових джерел хімічного, пилового та теплового забруднення;

- запропонований інженерний метод боротьби з пилом під час перевезення вугілля або його зберігання в штабелях дозволяє ефективно зменшити рівень забруднення робочих зон;

- запропонований інженерний метод боротьби із забрудненням повітря робочих зон біля автотрас дозволяє ефективно зменшити рівень хімічного забруднення робочих зон;

- запропонована динамічна чисельна модель для оцінювання ефективності водяної завіси дозволяє в режимі реального часу визначити зниження інтенсивності теплових потоків, що виникають у випадку пожежі та може бути використана для організації науково обґрунтованої системи захисту пожежників;

- розроблені чисельні моделі та створене на їх базі програмне забезпечення впроваджені в Головному управлінні Державної служби України з надзвичайних ситуацій в Дніпропетровській області (ДСНС України) для оцінювання рівня небезпеки в робочих зонах, а також в освітньому процесі Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в:

- аналізі стану проблеми [9, 21];

- розробленні чисельних моделей аеродинаміки для розрахунку поля швидкості повітря в робочих зонах, що мають складну геометричну форму; розробленні комп'ютерних кодів; проведенні обчислювального експерименту для визначення поля швидкості в робочих зонах [3–6, 9, 20, 42];

- аналізі стану проблеми; розробленні чисельної моделі для розв'язання задачі аеродинаміки на базі неявної схеми розщеплення; розробленні комп'ютерного коду; проведенні обчислювального експерименту для визначення поля швидкості в робочих зонах [16];

- програмуванні розроблених чисельних моделей для розв'язання задач аеродинаміки; проведенні обчислювальних експериментів [15];

- аналізі стану проблеми; розробленні чисельних моделей для розв'язання задач масопереносу; розробленні комп'ютерних кодів; проведенні обчислювальних та фізичних експериментів; аналізі та обробленні даних досліджень [8, 13, 14, 17–19, 21–24, 26, 33, 39, 41, 46, 47];

- розробленні конструкції спеціальних додаткових бортів; проведенні експериментів по моделюванню пилового забруднення робочих зон; аналізі та обробленні даних експериментальних досліджень; розробленні чисельних моделей масопереносу при емісії пилу; створенні комп'ютерних кодів; проведенні обчислювальних експериментів; обробленні даних обчислювальних експериментів [21, 43–45];

- розробленні концепції використання захисних бар'єрів, екранів складної форми для мінімізації рівня забруднення робочих зон; проведенні експериментальних досліджень; розробленні чисельних моделей для аналізу

ефективності використання бар'єрів, екранів; обробленні результатів досліджень [21, 38–41];

– розробленні чисельної моделі для аналізу шумового забруднення робочих зон; створенні комп'ютерного коду; проведенні досліджень на базі розробленої моделі; аналізі та обробленні даних досліджень [21, 40];

– розробленні чисельних моделей для розв'язання задач теплопереносу; моделюванні роботи водяної завіси; моделюванні ризику термічного ураження працівників, ризику займання в сховищах; розробленні комп'ютерних кодів; проведенні обчислювальних експериментів; аналізі та обробленні даних досліджень [7, 10, 12, 21, 25, 27–30, 32, 33, 36–38];

– аналізі стану проблеми; розробленні чисельних моделей для оцінювання ризику ураження водолаза; розробленні комп'ютерних кодів; проведенні обчислювальних експериментів; аналізі та обробленні даних досліджень [21, 31, 34, 35, 38, 41].

Апробація матеріалів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідались і одержали позитивні оцінки на наукових конференціях і семінарах: VII Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2017 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (м. Дніпро, 2018 р.); V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України» (м. Київ, 2019 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Energy-Optimal Technologies, Logistic and Safety on Transport» (м. Львів, 2019 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (м. Дніпро, 2020 р.); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності в XXI столітті» (м. Дніпро, 2020 р.); 2nd International Conference «Mining Science and Practice» (м. Дніпро, 2020 р.); IX Всеукраїнському науковому семінарі «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» (м. Харків, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, промисловості та освіті» (м. Дніпро, 2020 р.); науковій конференції «Priority Directions of Science and Technology Development» (м. Київ, 2020 р.); 9 Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (м. Дніпро, 2020 р.); XII Міжнародній науковій конференції «Transport Problems 2020» (Польща, 2020 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 2021 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м. Дніпро, 2021 р.); III Всеукраїнській конференції «Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів і комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці» (м. Київ, 2021 р.); III Міжнародній конференції «Essays of mining science and practice» (м. Дніпро, 2021 р.); 25 Міжнародній науковій конференції «Transport means 2021» (Kaunas, Litva, 2021 р.); X International scientific and practical conference

«Trends and prospects development of science and practice in modern environment» (Geneva, Switzerland, 2021 p.); III International scientific and practical conference «Modern challenges to science and practice» (Varna, Bulgaria, 2022 p.); IV International science conference «Actual problems of practice and science and methods of its solution» (Milan, Italy, 2022 p.).

Публікації. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображено в 47 наукових публікаціях, а саме: 47 публікаціях, а саме: 15 статтях у наукових фахових виданнях України (з них 1 – у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus), 4 статтях у зарубіжних наукових періодичних виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science; 2 монографіях; 20 тезах доповідей; 6 працях, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи – 397 сторінок, у тому числі обсяг основного тексту – 329 сторінок (13,7 авторських аркушів). Дисертація містить 34 таблиці, 202 рисунки. Список використаних джерел включає 197 найменувань на 23 сторінках. Додатки викладено на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Висвітлено особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві. Подано відомості про апробацію матеріалів дисертації та публікації.

В **першому розділі** здійснено аналіз шкідливих факторів, що виникають під час функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу (на прикладі Придніпровської ТЕС). Показано, що на об'єктах паливно-енергетичного комплексу особливо інтенсивне забруднення робочих зон спостерігається при промислових викидах у повітря за несприятливих метеоумов (штиль, інверсія). Значне забруднення робочих зон на промислових майданчиках відбувається при емісії пилу від сховищ вугілля (штабеля вугілля), при виносі вугільного пилу з напіввагонів, що транспортують паливо територією ТЕС, при викидах від автотранспорту тощо. Наведено результати системного аналізу методів, що застосовуються сьогодні в Україні та за кордоном для оцінювання рівня забруднення робочих зон та визначення ефективності інженерних засобів мінімізації дії шкідливих факторів на робочих місцях. Показано, що на практиці для оцінювання рівня хімічного, пилового забруднення використовуються здебільшого емпіричні моделі, модель Гаусса. Модель Гаусса також широко застосовується в прикладних розрахунках за кордоном (наприклад, програмний комплекс ALOHA, AERMOD). Але слід зауважити, що ці моделі мають суттєві недоліки. Зокрема, їх неможливо використовувати для оцінювання рівня шкідливих факторів у робочих зонах при інверсії, штилі або якщо поблизу джерела забруднення розташовуються захисні бар'єри, екрани, тобто об'єкти, що змінюють аеродинаміку повітряного

потоків. Водночас за кордоном основним інструментарієм розв'язання задач оцінювання шкідливих факторів у робочих зонах, а також задач, що спрямовані на розроблення методів мінімізації дії шкідливих факторів є CFD-моделі, що дозволяють «відтворити» в обчислювальному експерименті процес, що моделюється, з дуже докладною деталізацією, практично так, як і у фізичному експерименті. У практиці багатьох країн використовуються потужні CFD-моделі, що реалізовані у вигляді програмних пакетів типу ANSYS Fluent, COMSOL та інші. Доведено необхідність розроблення ефективних CFD-моделей для розв'язання задач із оцінювання шкідливих факторів у робочих зонах та наукового обґрунтування інженерних засобів, що спрямовані на захист робочих зон від забруднення. Здійснено обґрунтування обраного наукового напрямку досліджень.

У **другому розділі** розглянуто побудову теоретичного інструментарію для розв'язання комплексу задач у галузі охорони праці – оцінювання рівня шкідливих факторів (хімічне, шумове забруднення) у робочих зонах у випадку викидів від транспортних засобів, що працюють на території ТЕС, та розроблення інженерних засобів зниження їх негативного впливу на працівників.

Розглядається захист від забруднення повітря в робочих зонах, що розташовані поблизу місця роботи вантажних автомобілів, шляхом використання захисних бар'єрів, зокрема спеціальних бар'єрів, що мають складну геометричну форму. Оцінювання рівня хімічного забруднення робочих зон унаслідок емісії небезпечних речовин (NO , NO_2 , CO), що містяться у викидах від автомобілів, при використанні спеціальних бар'єрів здійснюється на базі рівняння конвективно-дифузійного розповсюдження домішки в повітрі робочих зон. Це рівняння враховує інтенсивність викиду домішки від вантажного автомобіля, місце викиду, нерівномірний профіль швидкості вітру, стан атмосфери. Для розрахунку нерівномірного поля швидкості повітряного потоку, що формується під впливом захисного бар'єру складної форми, використовується модель потенціального руху. Ця модель також дозволяє врахувати вплив корпусу вантажного автомобіля на аеродинаміку повітряного потоку біля захисного бар'єру. Особливістю розробленої моделі є врахування хімічної взаємодії різних домішок, що містяться у викидах від автомобілів. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються явні та неявні скінченно-різницеві схеми розщеплення.

На базі розроблених чисельних моделей створені спеціалізовані комп'ютерні коди – інструментарій для виконання обчислювальних експериментів. Наведено опис цих комп'ютерних кодів та результати комплексу виконаних обчислювальних експериментів з визначення ефективності використання захисних бар'єрів різної форми (рис. 1–3).

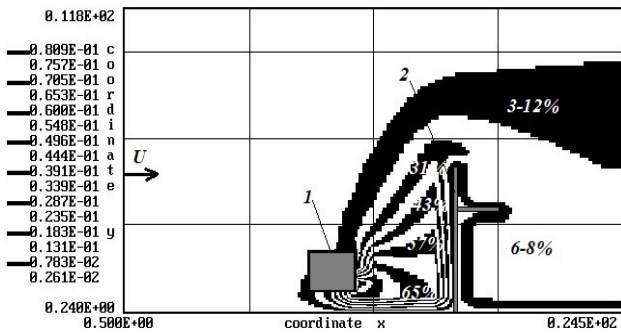


Рисунок 1 – Поле концентрації NO за наявності вертикального бар'єра з додатковим елементом:
1 – джерело емісії, 2 – бар'єр.

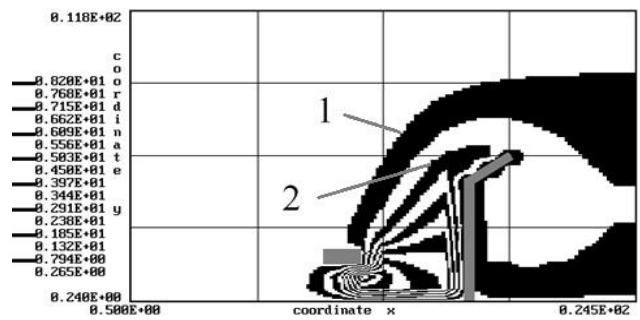


Рисунок 2 – Зона забруднення біля захисного бар'єра (концентрація наведена в безрозмірному вигляді):
1 – $C=0,07$; 2 – $C=0,18$.

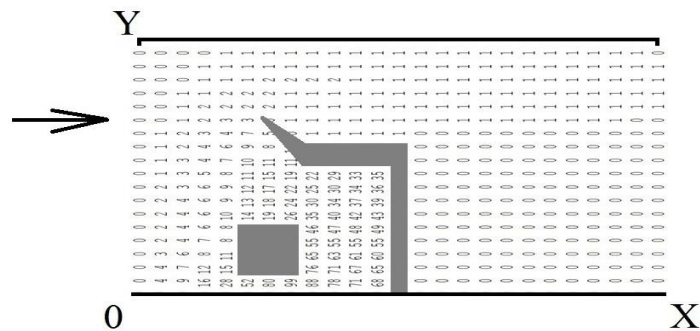


Рисунок 3 – Розподіл концентрації домішки
($C_{max}=10,38 \text{ мг/м}^3$)

Також наведено результати виконаних фізичних експериментів, мета яких – дослідження закономірностей формування зон забруднення біля захисних бар'єрів складної форми та верифікація розроблених чисельних моделей (рис. 4–5).



Рисунок 4 – Зона забруднення:
1 – джерело викиду; 2 – зона забруднення перед бар'єром; 3 – зона забруднення над додатковим елементом.



Рисунок 5 – Зона забруднення біля захисного бар'єра:
1 – місце викиду забруднювача; 2 – область забруднення під пластиною; 3 – область забруднення над пластиною.

Описано результати дослідження ефективності використання комплексу «вентилятор+бар'єр+екран» для мінімізації рівня хімічного забруднення робочих зон. Дослідження виконано на базі розробленої чисельної моделі та створеного на її базі комп'ютерного коду. Модель дозволяє оцінити рівень хімічного забруднення робочих зон із урахуванням основних фізичних факторів, що впливають на процес аеродинаміки та масопереносу при роботі всмоктувальної системи: положення бар'єрів, положення корпусу автомобіля, витрати вентилятора, метеоумови, інтенсивність емісії домішки. На рис. 6 показано поле концентрації домішки при роботі аксіального вентилятора та за наявності двох бар'єрів.

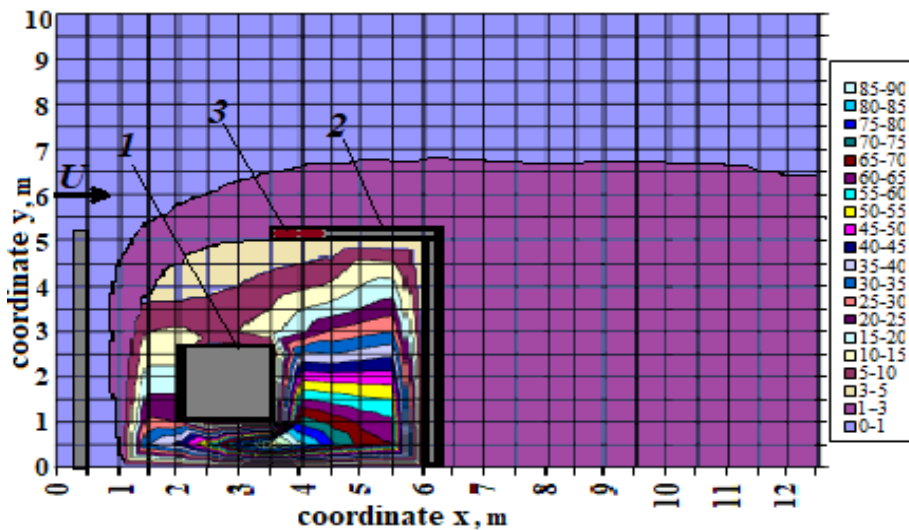


Рисунок 6 – Зона забруднення:

- 1 – джерело викиду хімічно небезпечної речовини (автомобіль); 2 – бар'єр;
3 – аксіальний вентилятор.

Розглянуто розроблення чисельної моделі оцінювання ефективності використання захисних бар'єрів, що мають «TX Active» поверхню. Як відомо, такі поверхні поглинають NO під дією сонячного світла. Проектуючи захисні бар'єри з «TX Active» поверхнею, необхідно визначити ефективність зниження концентрації забруднювача в робочих зонах. Але ефективність використання «TX Active» бар'єрів залежить від багатьох факторів: висоти бар'єра, розташування його відносно траси, швидкості повітря, інтенсивності емісії домішки, положення автомобіля відносно бар'єра, метеоумов. Крім цього, відомо, що деякі бар'єри мають лише частково покриття TiO_2 . Тобто на практиці ми маємо дуже різноманітні конструкції бар'єрів та різні умови їх експлуатації. В зв'язку з цим для практики дуже важливим є створення математичних моделей, що дозволяють адекватно визначити ефективність цих бар'єрів для захисту робочих зон від забруднення. Розроблено чисельну модель, що дозволяє вирішувати цю задачу з урахуванням перелічених вище факторів. У табл. 1 наведено результати визначення концентрації NO в робочій зоні для трьох сценаріїв: немає «TX Active» поверхні на захисному бар'єрі

(базовий сценарій); «TX Active» поверхня лише з одного боку бар'єра (сценарій 1); «TX Active» поверхня з двох боків бар'єра (сценарій 2).

Таблиця 1 – Значення концентрації NO в робочій зоні

Відстань від бар'єра, м	Базовий (бар'єр без «TX Active» поверхні)	Сценарій 1 («TX Active» поверхня лише з одного боку бар'єра)	Сценарій 2 («TX Active» поверхня з двох боків бар'єра)
1,5	0,0153	0,0087	0,0012
2,5	0,0146	0,0083	0,0018
3,5	0,0140	0,0080	0,0022
4,5	0,0135	0,0077	0,0024
5,5	0,0126	0,0075	0,0025

Дані з табл. 1 свідчать про те, що використання «TX Active» поверхні дає можливість суттєво зменшити концентрацію забруднювача в робочій зоні.

Представлено розроблену чисельну модель для оцінювання ефективності шумозахисних екранів, що мають складну геометричну форму та використовуються біля залізничної колії. Модель базується на чисельному інтегруванні рівняння акустики. Наведено результати виконаного обчислювального експерименту, що підтверджують можливість використання розробленої моделі для аналізу шумового забруднення біля залізниці з урахуванням геометричної форми екрана, рельєфу місцевості. Також наведено результати верифікації розроблених чисельних моделей, що підтверджують їх адекватність.

Представлений теоретичний інструментарій дозволяє надати експертну оцінку ефективності використання захисних бар'єрів для мінімізації дії шкідливих факторів у робочих зонах.

У **третьому розділі** розглядається вирішення проблеми зі зменшення інтенсивності виносу вугільного пилу з напіввагонів, що транспортують вугілля. Відомо, що вугілля потрапляє на ТЕС здебільшого шляхом транспортування залізничним транспортом. Винос вугільного пилу з напіввагонів створює область інтенсивного забруднення біля колії. Пил, що потрапив на підстильну поверхню, при русі вітру знов виноситься в повітря та таким чином відбувається повторне пилове забруднення робочих зон. Таке пилове забруднення спостерігається навіть тоді, коли склад із вугіллям не рухається та чекає на розвантаження на території ТЕС. Тому виникає важлива проблема – зменшення рівня пилового забруднення робочих зон біля колії. Здійснена перевірка робочої гіпотези, що використання спеціальних додаткових бортів на напіввагонах із вугіллям змінює аеродинаміку повітряного потоку біля вантажу, зменшує швидкість потоку та внаслідок цього зменшується пилоутворення з поверхні вантажу. Для підтвердження цієї робочої гіпотези було виконано серію експериментів, коли на моделі вагона встановлювалися борти особливої форми. Як базова платформа використовувалася модель напіввагона марки 12-1592 (рис. 7).

На рис. 8 показано модель напіввагону зі спеціальними додатковими бортами. Ці борти мають два додаткових елемента: один – внутрішній елемент (за типом «шафа»), другий – зовнішній.



Рисунок 7 – Модель вагона з вантажем (вугіллям)

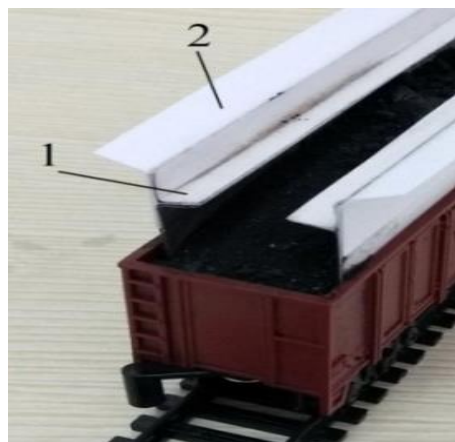


Рисунок 8 – Застосування бортів з додатковими елементами:
1 – внутрішній елемент;
2 – зовнішній елемент.

У табл. 2 наведено значення концентрації вугільного пилу ($PM_{2.5}$) за моделлю вагона для різної швидкості повітряного потоку.

Таблиця 2 – Значення концентрації пилу

Швидкість потоку, м/с	Базовий варіант (немає додаткових елементів)	Борти з додатковими елементами
2,2–2,6	6,6–7,4	2,3–2,9
6,3–6,8	17,6–18,2	5,8–6,6
10,1–10,6	22,9–23,6	8,6–9,5

Дані експериментів свідчать про те, що використання додаткових елементів на бортах дозволяє зменшити рівень пилового забруднення на промисловому майданчику. На наступному етапі досліджень було розроблено чисельну модель, що дозволяє прогнозувати рівень пилового забруднення робочих зон біля колії, коли відбувається винос пилу з вагонів, що мають додаткові спеціальні борти. Основою моделі є рівняння переносу вагової домішки в повітрі, що враховує швидкість вітру, атмосферну дифузію, інтенсивність емісії пилу від поверхні вантажу, форму додаткових бортів, та рівняння для потенціалу швидкості, на базі якого визначається поле швидкості повітряного потоку біля поверхні вантажу у вагоні. Представлено результати виконаного обчислювального експерименту.

Наведено інший розв'язок задачі зі зменшення виносу пилу з вагонів, що транспортують вугілля, за рахунок використання на вагоні спеціальних екранів, що мають додатковий елемент з ухилом. На рис. 9–10 наведено моделі вагонів

із цими екранами. Перший варіант – вертикальний екран має додатковий елемент з ухилом «по потоку», другий варіант – додатковий елемент має ухил «проти потоку».

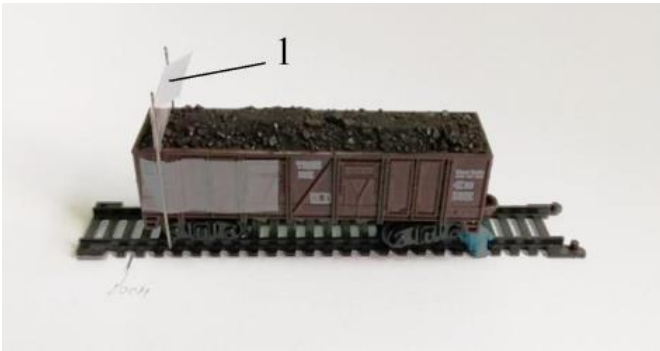


Рисунок 9 – Модель вагона з екраном (додатковий елемент з ухилом «по потоку»)



Рисунок 10 – Модель вагона з екраном (додатковий елемент з ухилом «проти потоку»)

Нижче на рисунках показано зону забруднення підстильної поверхні, що була отримана під час фізичного експерименту.

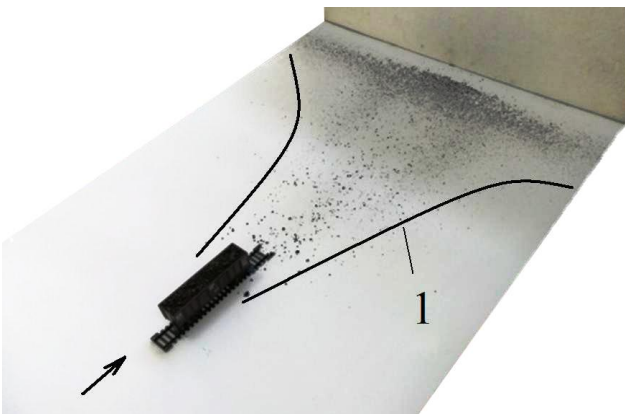


Рисунок 11 – Зона забруднення біля вагона (немає екрана):
1 – межа зони забруднення.

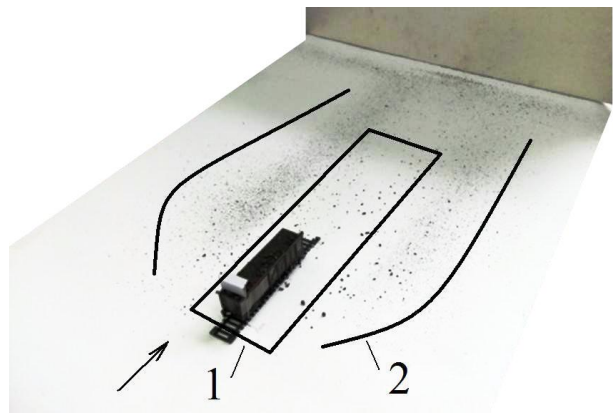


Рисунок 12 – Зона забруднення біля вагона (додатковий елемент з ухилом «по потоку»):
1 – межа внутрішньої зони забруднення; 2 – межа зовнішньої зони забруднення.

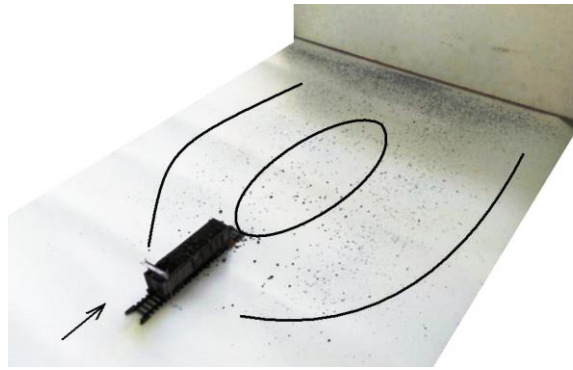


Рисунок 13 – Зона забруднення біля вагона (додатковий елемент з ухилом «проти потоку»):

1 – межа внутрішньої зони забруднення; 2 – межа зовнішньої зони забруднення.

Дані виконаних експериментів свідчать про те, що положення спеціального екрана відносно напрямку потоку вітру впливає на закономірність формування зони забруднення підстильної поверхні біля колії. У табл. 3 наведено середнє значення концентрації вугільного пилу ($PM_{2.5}$), що вимірювалися на різній довжині від моделі вагона з екранами. Ці виміри були здійснені для довжини $L, 2L, 3L$, де L – довжина моделі вагона, та на висоті, що дорівнює висоті моделі вагона.

Таблиця 3 – Середня концентрація вугільного пилу, $\mu g \cdot m^{-3}$

Довжина	Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3
L	500	95	23
$2L$	128	54	17
$3L$	68	36	11

Аналіз даних із табл. 3 підтверджує робочу гіпотезу, що використання екрана з додатковим елементом на вагоні дозволяє зменшити рівень забруднення повітря на промисловому майданчику, який розташований біля колії.

На наступному етапі досліджень було розроблено чисельну модель, що дозволяє прогнозувати рівень пилового забруднення робочих зон біля колії, коли на вагоні встановлено спеціальні екрани. Основою моделі є рівняння переносу вагової домішки в повітрі, що враховує швидкість вітру, атмосферну дифузію, інтенсивність емісії пилу від поверхні вантажу, форму екрана та рівняння Ейлера, на базі яких визначається поле швидкості повітряного потоку біля поверхні вантажу у вагоні. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються скінченно-різницеві схеми. Представлено результати виконаного обчислювального експерименту. Створені чисельні моделі дають можливість проводити дослідження із забруднення повітря в робочих зонах біля залізничної колії в режимі реального часу. Результати виконаного обчислювального експерименту підтвердили, що розроблені чисельні моделі є

ефективним інструментом параметричного аналізу рівня пилового забруднення робочих зон біля залізничної колії.

У **четвертому розділі** розглянуто побудову теоретичного інструментарію для розв'язання комплексу прикладних задач, що потребують розгляду для забезпечення безпечних умов праці на території ТЕС. Розглядається розроблення чисельної багатопараметричної моделі оцінювання рівня хімічного або пилового забруднення робочих зон на промислових майданчиках ТЕС за несприятливих метеоумов (інверсія, штиль). Відомо, що якщо поблизу ТЕС розташована річка (рис. 14), то холодне повітря від поверхні водойми рухається в напрямку території ТЕС та створює шар холодного повітря над землею, а вище цього шару розташовується шар нагрітого повітря, тобто спостерігається локальна інверсія.

Таким чином, при інверсії в приземному шарі атмосфери формуються шари з різною інтенсивністю розсіювання домішки. Це є причиною формування областей забруднення з дуже значною концентрацією домішки на території ТЕС. Тому для практики дуже важливо мати методи оцінювання рівня забруднення повітря на промислових майданчиках за несприятливих метеоумов. Для розв'язання задач цього класу побудовано чисельну модель, що базується на інтегруванні тривимірного рівняння масопереносу домішки в атмосферному повітрі промислового майданчика. Модель враховує висоту шару інверсії, швидкість та напрям вітру, положення джерел емісії домішки, атмосферну дифузію. Модель також адаптована для прогнозування рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах при штилі. На базі розробленої чисельної моделі створено комп'ютерний код та наведено результати обчислювальних експериментів. Так, на рис. 15 показано область пилового забруднення біля штабеля вугілля на території Придніпровської ТЕС у випадку інверсії.



Рисунок 14 – Розрахункова область:
1 – штабель вугілля (сховище вугілля)
на території Придніпровської ТЕС
(Google Image, 2022).

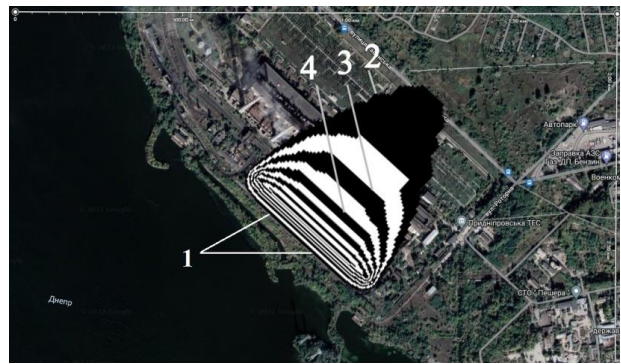


Рисунок 15 – Область пилового забруднення на промисловому майданчику при інверсії:
1 – область розташування штабеля; 2 – $C=9,01 \text{ мг/м}^3$; 3 – $C=20,6 \text{ мг/м}^3$; 4 – $C=30,9 \text{ мг/м}^3$ (Google Image, 2022).

На рис. 16 наведено результати прогнозування рівня хімічного забруднення повітря на промисловому майданчику ТЕС у разі аварійного розливу сірчаної кислоти та її випарювання з місця розливу в умовах інверсії. Розгляд цієї задачі пов'язаний із тим, що ця кислота потрапляє в залізничних цистернах до Придніпровської ТЕС та використовується для регенерації фільтрів у системі водокористування. У випадку аварійного розливу можливе створення інтенсивних областей хімічного забруднення на промисловому майданчику.



Рисунок 16 – Область хімічного забруднення на промисловому майданчику при інверсії, аварійний розлив:

1 – $C=0,05 \text{ мг/м}^3$; 2 – $C=0,13 \text{ мг/м}^3$; 3 – $C=0,26 \text{ мг/м}^3$ (Google Image, 2022).

є

Також наведено результати моделювання процесу забруднення атмосферного повітря на промисловому майданчику Придніпровської ТЕС в умовах штилю та при організованих викидах із труб. Результати розрахунків показали значне забруднення повітря на промисловому майданчику для таких несприятливих метеоумов.

Розглянуто побудову чисельної моделі, що дозволяє прогнозувати рівень пилового забруднення повітря в салоні автотранспорту, що рухається територією ТЕС. Територія ТЕС має ділянки з дуже інтенсивним пиловим забрудненням, тому при роботі автотехніки пил потрапляє всередину салону автомобіля та негативним чином впливає на здоров'я працівників, може викликати сльозотечу, утруднене дихання. Тому виникає проблема розроблення інструментарію оцінювання рівня пилового забруднення салону автомобіля з метою визначення рівня небезпеки для працівників, що працюють на ньому. Для розв'язання цієї задачі використовувалося чисельне інтегрування рівняння поширення пилу в області складної форми (салон автомобіля) та модель аеродинаміки для розрахунку поля швидкості повітря всередині салону. Наведено результати виконаного обчислювального експерименту, що підтверджують працездатність розробленої чисельної моделі для розв'язання задач цього класу.

Розглядається розв'язання задачі про захист робочих зон від пилового забруднення біля вугільного штабеля шляхом використання екранів спеціальної форми. Відомо, що штабелі вугілля, які розташовані на території ТЕС, є

потужними джерелами забруднення повітря в робочих зонах, та особливо інтенсивним є пилове забруднення робочих зон біля штабелів вугілля. Було проведено фізичний експеримент (рис. 17), що підтвердив робочу гіпотезу про можливість зменшення забруднення повітря в робочих зонах біля штабеля вугілля шляхом використання екранів, що мають Г-подібну форму та розташовані різним чином відносно потоку вітру.

На рис. 18 наведено область забруднення робочої зони біля штабеля вугілля для першого сценарію (немає екрана).

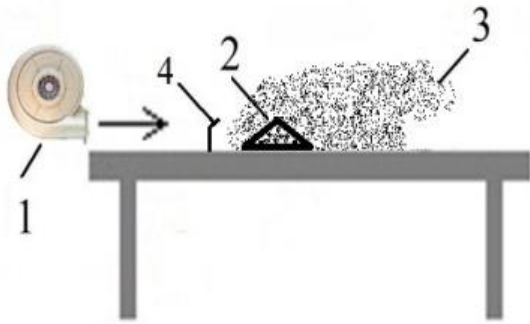


Рисунок 17 – Схема експериментальної установки:
1 – повітродувка; 2 – модель вугільного штабеля; 3 – зона забруднення; 4 – екран.



Рисунок 18 – Забруднення робочої зони біля штабеля вугілля (сценарій 1):
1 – область незначного забруднення;
2 – область інтенсивного забруднення.

На рис. 19–20 показано розташування екранів Г-подібної форми біля моделі штабеля вугілля.



Рисунок 19 – Модель штабеля вугілля з екраном (сценарій 2, додатковий елемент на екрані з ухилом в напрямку штабеля):
1 – екран.

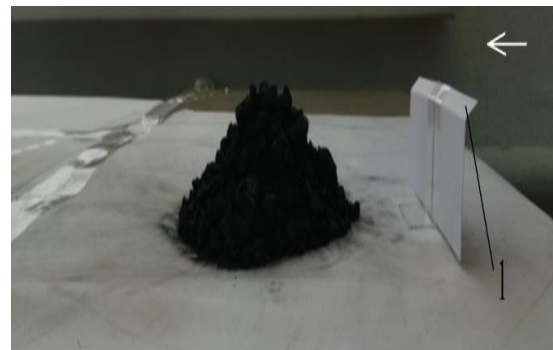


Рисунок 20 – Модель штабеля вугілля з екраном (сценарій 3, додатковий елемент на екрані з ухилом в напрямку вітру):
1 – екран.

У табл. 4 показано значення середньої концентрації пилу ($PM_{2.5}$) на різній відстані L (L – діаметр конуса штабеля) від штабеля для трьох сценаріїв, що досліджувалися.

Таблиця 4 – Середня концентрація вугільного пилу (PM2.5)

Відстань	Концентрація пилу, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Сценарій 1 (немає екрана)	Сценарій 2	Сценарій 3
0,5L	239	28	12
L	122	11	5
1,5L	33	5	3

Дані табл. 4 свідчать про те, що екрани, які мають Г-подібну геометричну форму, дозволяють ефективно зменшувати рівень пилового забруднення повітря біля штабеля вугілля. Наведено розроблені чисельні моделі для експертного оцінювання рівня пилового забруднення робочих зон біля штабеля вугілля та визначення ефективності використання захисних екранів, що мають складну геометричну форму. Основу моделі складають рівняння Нав'є-Стокса, рівняння для потенціалу швидкості та рівняння переносу вагової домішки. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовувалися скінченно-різницеві схеми. Розроблені чисельні моделі дозволяють розв'язувати задачу з визначення ефективності використання захисних екранів з урахуванням швидкості повітря, геометричної форми штабеля, атмосферної дифузії, нерівномірної інтенсивності емісії пилу від різних ділянок штабеля. Наведено результати виконаних обчислювальних експериментів для захисних екранів різної форми (рис. 21–23).

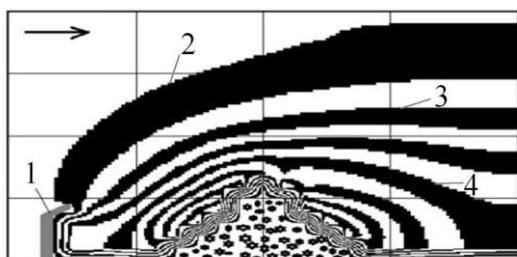


Рисунок 21 – Ізолінії концентрації пилу біля штабеля вугілля (використовується Г-подібний екран «по потоку»):

1 – екран; 2 – $C=0,23 \text{ мг}/\text{м}^3$;
3 – $C=1,65 \text{ мг}/\text{м}^3$; 4 – $C=3,54 \text{ мг}/\text{м}^3$.

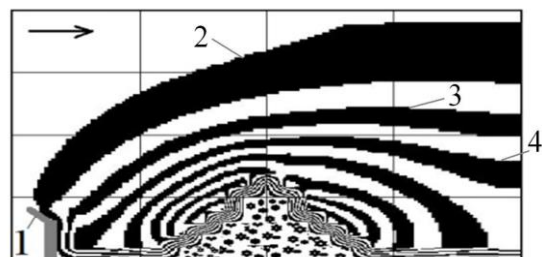


Рисунок 22 – Ізолінії концентрації пилу біля штабеля вугілля (використовується Г-подібний екран «проти потоку»):

1 – екран (сценарій 2);
2 – $C=0,25 \text{ мг}/\text{м}^3$; 3 – $C=1,79 \text{ мг}/\text{м}^3$;
4 – $C=2,81 \text{ мг}/\text{м}^3$.

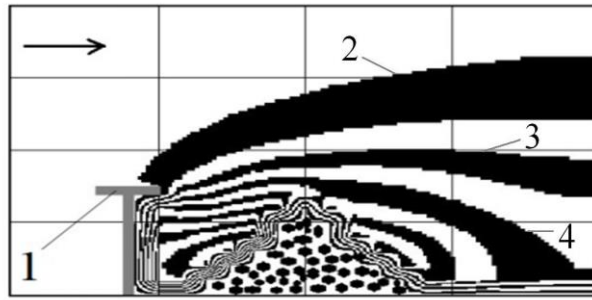


Рисунок 23 – Ізолінії концентрації пилу біля штабеля вугілля (використовується Т-подібний екран):

1 – екран (сценарій 3); 2 – $C=1,06\text{мг/м}^3$; 3 – $C=2,48\text{мг/м}^3$; 4 – $C=3,90\text{мг/м}^3$.

Результати виконаних обчислювальних експериментів підтвердили широкий робочий діапазон розроблених чисельних моделей.

На наступному етапі розглянуто побудову чисельної моделі для оцінювання ефективності використання зволоження поверхні штабеля з метою зменшення інтенсивності пилоутворення з поверхні та внаслідок цього зменшення рівня пилового забруднення робочих зон. Розроблена модель дозволяє врахувати комплекс важливих фізичних факторів, що впливають на інтенсивність випарювання води з поверхні штабелю та поширення пилу в повітрі робочих зон, а саме: нерівномірну швидкість повітря, що обтікає штабель, геометричну форму штабеля, атмосферну дифузію, різну інтенсивність випарювання води від різних ділянок штабелю. Результати виконаного обчислювального експерименту показують, що модель дозволяє оцінити час, коли ефективність зволоження поверхні штабеля знижується внаслідок випарювання води та необхідно здійснити новий цикл подавання води на поверхню пилоутворення.

Розглянуто побудову чисельної моделі, що дозволяє оцінювати ефективність використання подавання води в пилову хмару, яка утворилася біля штабеля вугілля, з метою зменшення концентрації пилу в робочих зонах. Краплі води «захоплюють» частки пилу та осідають на поверхню землі. Це дозволяє зменшити рівень пилового забруднення повітря в робочих зонах, що розташовані біля штабеля. Основою розробленої моделі є рівняння конвективно-дифузійного поширення в повітрі вагової домішки та рівняння для потенціалу швидкості. Побудована чисельна модель враховує: місце та інтенсивність подавання води, нерівномірну швидкість вітру, атмосферну дифузію, форму штабеля, інтенсивність емісії пилу від поверхні штабеля, рух крапель води, рух часток пилу в повітрі, процес взаємодії «крапля води + частка пилу» в повітрі. Особливістю розробленої чисельної моделі є врахування максимальної маси пилу, що може «захопити» крапля води. Таке врахування здійснюється на базі розробленої інженерної методики розрахунку процесу взаємодії «крапля води + частка пилу» в повітрі. Можливості моделі показано на прикладі розв'язання конкретної задачі. На рис. 24 показано розрахункову схему задачі, що

вирішується. На рис. 25–26, показано поле концентрації пилу за відсутності подачі води та при здійсненні такої подачі.

На рис. 27 показано значення концентрації пилу в робочій зоні за штабелем на висоті 1,7 м (положення органів дихання людини) для обох сценаріїв (відсутня подача води в хмару та при здійсненні такої подачі).

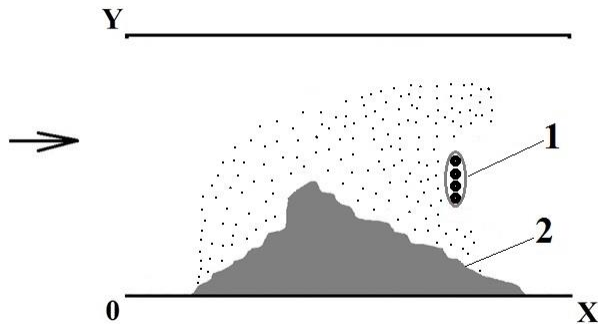


Рисунок 24 – Схема розрахункової області:
1 – зона розпилювання пилу; 2 – штабель вугілля.

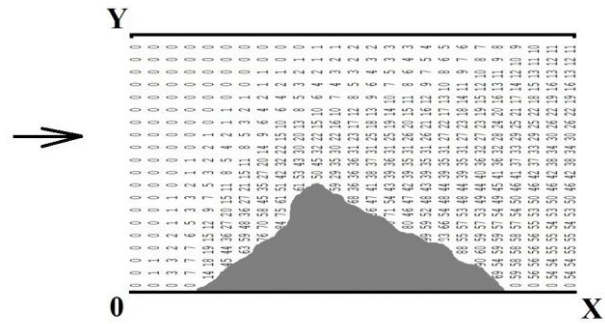


Рисунок 25 – Зона пилового забруднення (немає подачі води):
 $C_{max}=19,8 \text{ мг/м}^3$.

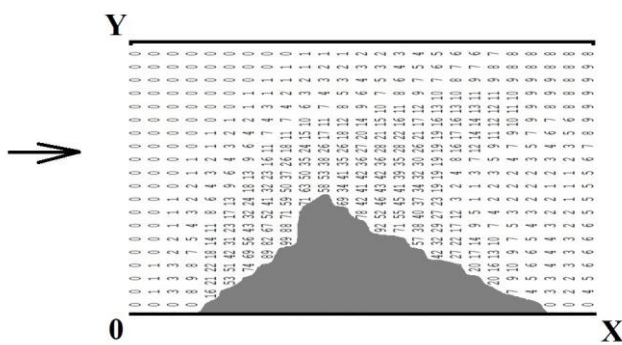


Рисунок 26 – Зона пилового забруднення (є подача води):
 $C_{max}=16,9 \text{ мг/м}^3$.

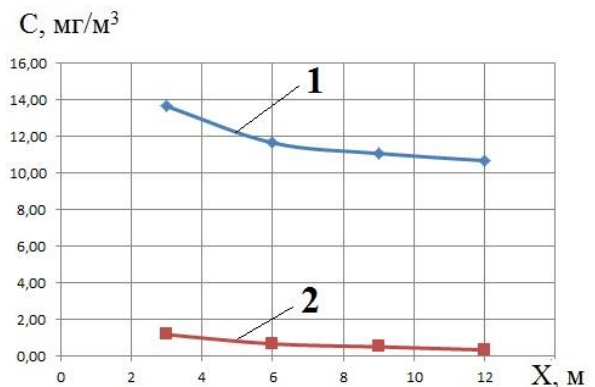


Рисунок 27 – Значення концентрації пилу в робочій зоні:
1 – немає подачі води;
2 – є подача води.

Результати виконаного обчислювального експерименту показали, що розроблена чисельна модель дозволяє швидко оцінювати ефективність знепилювання хмари шляхом подавання води.

Розроблені комп'ютерні моделі дозволяють швидко визначати рівень небезпеки для працівників, що працюють на промислових майданчиках ТЕС.

П'ятий розділ присвячено проблемі оцінювання ризику термічного або хімічного ураження водолазів при ліквідації аварійних витоків. Такий ризик виникає тому, що в м. Дніпро здійснюється підводне транспортування води з Придніпровської ТЕС в мікрорайони на правому березі міста. Крім цього, на дні розташовані різного роду трубопроводи, що транспортують небезпечні,

агресивні рідини (наприклад, кислоту тощо). У випадку аварійного пошкодження підводного трубопроводу (наприклад, під впливом донної течії, пошкодження якорем тощо) спостерігається витікання нагрітої води та небезпечних речовин, у результаті чого створюється зона дуже інтенсивного забруднення акваторії в місці, де повинні працювати водолази. Розроблено чисельну модель для оцінювання ризику термічного ураження водолазу при ліквідації аварії на пошкодженому підводному трубопроводі. Розроблена модель базується на використанні рівняння енергії та рівняння руху води, що дозволило створити на їх базі комп'ютерний код, який дозволяє врахувати форму підводної траншеї, турбулентність потоку, швидкість водного потоку, температуру водного середовища, температури речовини в пошкодженому трубопроводі. Також побудовано чисельну модель для оцінювання ризику хімічного ураження водолазу при ліквідації аварії на пошкодженому підводному трубопроводі. Розроблена модель базується на використанні рівняння масопереносу та рівняння руху води, що дозволило створити на їх базі комп'ютерний код, який дозволяє врахувати форму підводної траншеї, форму ложементу для трубопроводу, турбулентність потоку, швидкість водного середовища. Обчислювальні експерименти, що були виконані на базі побудованих чисельних моделей, показали, що моделі мають широкий робочий діапазон та дозволяють розв'язувати такі задачі в галузі, які не могли бути розв'язані на базі існуючих моделей.

Розроблене програмне забезпечення надає можливість оцінити рівень небезпеки для водолазів при проведенні ремонтних робіт на пошкоджених підводних трубопроводах.

У **шостому розділі** розроблено комплекс чисельних моделей для оцінювання ризику термічного ураження людей у випадку пожежі на об'єктах паливно-енергетичного комплексу.

Розроблені моделі базуються на використанні рівняння енергії та рівняння руху повітряних мас для розрахунку динаміки термічного забруднення повітря біля місця пожежі. Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використані скінченно-різницеві схеми.

Моделі дозволяють швидко здійснювати аналіз закономірностей формування областей теплового забруднення робочих зон та оцінювання ризику термічного ураження працівників із урахуванням впливу різного роду перешкод (будинки, павільйони тощо).

Наведено розв'язання комплексу прикладних задач із визначення ризику термічного ураження працівників у випадку різного роду пожеж, а саме: пожежа залізничної цистерни з нафтопродуктами та пожежі на АЗС. Нижче на рисунках показано розраховану зону теплового забруднення для різних моментів часу у випадку ймовірної пожежі на АЗС (м. Дніпро).



Рисунок 28 – Зона теплового забруднення, $t=10$ С (ймовірна пожежа на АЗС «АВІАС», м. Дніпро) (Google image, 2020):
1 – $T=697^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=403^{\circ}\text{C}$.

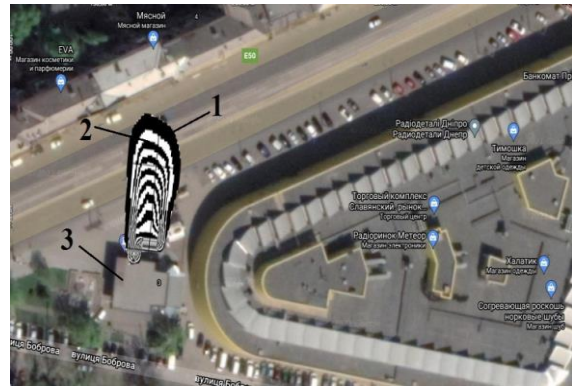


Рисунок 29 – Зона теплового забруднення, $t = 4$ С (ймовірна пожежа на АЗС м. Дніпро) (Google image, 2021):
1 – $T=130^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=275^{\circ}\text{C}$; 3 – АЗС.

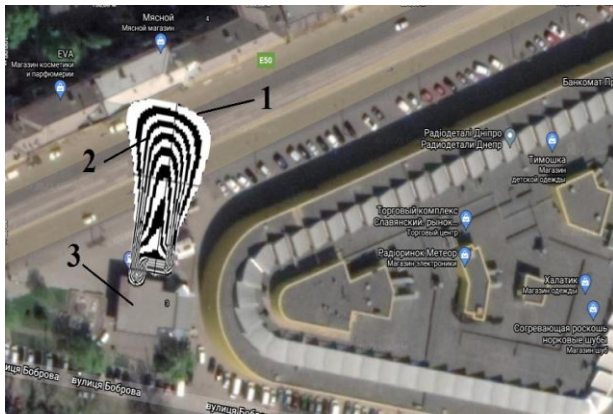


Рисунок 30 – Зона теплового забруднення, $t = 9$ С (ймовірна пожежа на АЗС, м. Дніпро) (Google image, 2021):
1 – $T=200^{\circ}\text{C}$; 2 – $T=423^{\circ}\text{C}$; 3 – АЗС.

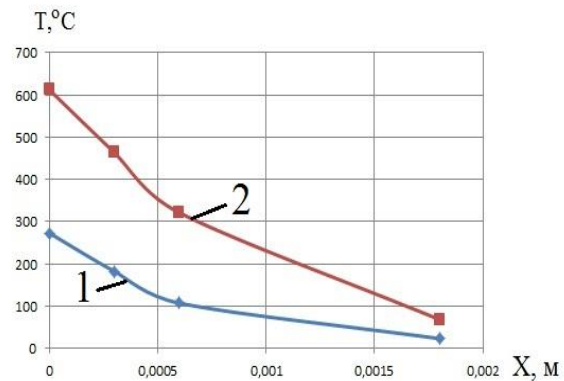


Рисунок 31 – Значення температури стінки павільйону для різних моментів часу після початку пожежі:
1 – $t=1,53$ с; 2 – $t=3,42$ с.

Особливістю розроблених чисельних моделей є можливість здійснювати оцінювання ризику термічного ураження працівників всередині будинків при припливі в них нагрітого повітря та поширення цього повітря в робочих приміщеннях. Крім цього, розроблені моделі дозволяють розраховувати динаміку нагріву конструкцій, що розташовані поблизу місця пожежі. Це дає можливість прогнозувати час можливого руйнування конструкцій. На рис. 31 показано, як змінюється температура стінки павільйону, що розташований поблизу місця пожежі.

Наведено побудовану чисельну модель, що дає можливість оцінювати ефективність використання водяної завіси для захисту працівників від термічного ураження у випадку пожежі. Вона враховує такі важливі параметри, як: вплив нерівномірного потоку повітря на формування зон термічного

забруднення, динаміку випарювання краплі води, рух крапель води в повітрі, місце організації водяної завіси, вплив перешкод на формування зон термічного забруднення. Наведено результати обчислювального експерименту з визначення зміни температурного поля в повітрі при використанні водяної завіси та без неї.

Розглянуто побудову чисельної моделі для оцінювання ризику виникнення пожежі в сховищі палива, що має рослинне походження, внаслідок самонагрівання. Модель базується на використанні рівняння енергії для опису розподілу температури в області можливого горіння. Наведено результати обчислювального експерименту, що підтверджують широкий робочий діапазон розробленої чисельної моделі.

Представлені комп'ютерні моделі створюють сучасний інструментарій для оцінювання ризику термічного ураження працівників у робочих зонах у випадку пожежі.

Отримані результати знайшли впровадження в Головному управлінні Державної служби України з надзвичайних ситуацій в Дніпропетровській області, а також в освітньому процесі Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науковою працею, у якій розв'язано важливу науково-прикладну проблему: виконано наукове та практичне обґрунтування оцінки рівня небезпеки в робочих зонах на території об'єктів паливно-енергетичного комплексу та визначення ефективності застосування засобів захисту з урахуванням моделювання процесів та використання спеціальних інженерних рішень. Наукові результати виконаних досліджень такі:

1. Аналіз шкідливих факторів, що спостерігаються під час функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу та існуючих захисних систем, довів доцільність створення багатофункціональних динамічних моделей аналізу рівня небезпеки в робочих зонах при штатному функціонуванні та у випадку екстремальних ситуацій на об'єктах.

2. На підставі системного аналізу наукових праць встановлено, що зараз за кордоном для оцінювання рівня небезпеки в робочих зонах найбільш активно застосовуються чисельні моделі, що дозволяють отримати детальнішу інформацію про розподіл факторів небезпеки та здійснити аналіз ефективності різних засобів, що використовуються на виробництві для забезпечення нормальних умов праці. Водночас в Україні є дефіцит таких моделей, отже, існує потреба в їхній активній розробці.

3. Розроблено динамічну чисельну модель для оцінювання ефективності водяної завіси, що використовується для зменшення впливу теплових потоків на працівників у разі виникнення пожежі. Модель дозволяє комплексно врахувати вплив вітру, дифузії, швидкості випарювання крапель, наявності будівель у зоні пожежі на зниження рівня теплового забруднення повітря біля місця пожежі. Ця модель може бути використана для наукового обґрунтування місця розташування завіси та її параметрів.

4. Розроблено інженерний метод розрахунку процесу «захоплення» краплею води часток пилу під час поширення крапель води в пиловій хмарі. Цей метод дозволяє врахувати рух краплі в повітрі, розміри краплі, а також розміри та вагу часток пилу. Це дає можливість адекватно оцінювати ефективність використання водяної завіси для зменшення рівня пилового забруднення робочих зон.

5. Розроблено динамічну чисельну модель для оцінювання ефективності зволоження поверхні штабеля вугілля з метою зменшення пилоутворення від його поверхні. Модель враховує інтенсивність подавання води на поверхню штабеля, метеоумови, нерівномірність випарювання води з різних ділянок штабеля, його геометричну форму та дозволяє регулювати режим подавання води на поверхню штабеля вугілля з метою забезпечення комфортних умов праці на майданчиках, де є склади вугілля.

6. Розроблено динамічну чисельну модель для оцінювання ефективності подачі води в пилову хмару, що формується біля штабеля вугілля. Модель дозволяє комплексно враховувати геометричну форму пилової хмари, геометричну форму штабеля, динаміку процесу «захоплення» пилу краплями води, метеоумови. Модель може бути використана для розробки стратегії керування рівнем пилового забруднення в робочих зонах шляхом раціонального вибору параметрів струменевих установок, що подають воду в пилову хмару.

7. Розроблено чисельну модель для оцінювання ефективності використання шумозахисних екранів біля залізничної колії. Модель враховує складну геометричну форму екранів, рельєф залізничного насипу, геометричну форму рухомого складу. Ця модель може бути використана для обґрунтування параметрів шумозахисних екранів для забезпечення допустимого рівня шуму в робочих зонах біля залізничної колії.

8. Виконано експериментальні дослідження, які підтвердили, що використання запропонованих спеціальних захисних екранів, які встановлюються біля штабеля вугілля, дозволяє зменшити рівень пилового забруднення в робочих зонах у 6-11 разів. Розроблено багатофакторні чисельні моделі для визначення ефективності використання таких екранів шляхом виконання обчислювального експерименту. Ці моделі враховують геометричну форму штабеля вугілля, метеоумови, геометричну форму захисного екрана та його локацію відносно штабеля.

9. Здійснено дослідження з визначення ефективності використання бар'єрів спеціальної форми, а також бар'єрів, що мають «TX Active» поверхню та розташовуються біля автодоріг з метою зниження рівня хімічного забруднення робочих зон. Розроблено комплекс багатофакторних чисельних моделей, що дозволяють дослідити закономірності формування областей забруднення в робочих зонах при використанні таких бар'єрів, визначити їхню ефективність та здійснити наукове обґрунтування під час вибору параметрів цих захисних засобів. Результати виконаних досліджень показали, що використання бар'єрів спеціальної форми дозволяє зменшити рівень хімічного забруднення повітря в робочих зонах більш ніж у два рази порівняно з

бар'єрами традиційної форми. Використання бар'єрів, що мають «ТХ Active» поверхню, дозволяє зменшити рівень забруднення повітря в робочих зонах у 5 разів.

10. Побудовано багатопараметричні чисельні моделі для оцінювання ефективності запропонованого комплексного використання вентиляторів, бар'єрів та екранів для зниження рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах біля автодоріг. Моделі дають можливість швидко визначати рівень забруднення повітря в робочих зонах з урахуванням геометричної форми бар'єрів, екранів, положення вентилятора та його витрати, розташування автомобіля. Виконані дослідження показали, що при комплексному використанні цих засобів рівень забруднення повітря може бути на 80 % нижчим порівняно з використанням лише захисних бар'єрів.

11. Виконано експериментальні дослідження з визначення ефективності використання екранів складної геометричної форми та спеціальних бортів, що розташовуються на вагонах, які здійснюють транспортування вугілля, з метою зниження рівня пилового забруднення робочих зон біля залізничної колії. Результати виконаних досліджень показали, що використання спеціальних бортів дозволяє зменшити рівень пилового забруднення робочих зон більш ніж у 2 рази, а використання спеціальних екранів – у 6 разів. Розроблено чисельні моделі, що дозволяють здійснювати дослідження з оцінювання ефективності використання спеціальних бортів та екранів шляхом виконання обчислювального експерименту.

12. Побудовано багатопараметричні чисельні моделі для оцінювання рівня забруднення повітря на промисловому майданчику ТЕС за несприятливих метеоумов. Моделі дають можливість швидко визначати рівень небезпеки для працівників у разі інверсії та штилю. Результати виконаних досліджень показали, що концентрація SO_2 в умовах інверсії на промисловому майданчику Придніпровської ТЕС може перевищувати ГДК майже в 17 разів, а при штилі концентрація вугільного пилу біля штабеля вугілля перевищує ГДК майже в 10–12 разів.

13. Побудовано багатопараметричну чисельну модель для оцінювання пилового забруднення повітря всередині автомобіля, що рухається територією ТЕС. Модель дає можливість швидко визначати рівень небезпеки для працівників, які працюють на транспортних засобах, що рухаються на промислових майданчиках об'єктів паливно-енергетичного комплексу. Модель враховує внутрішню геометрію кабіни автомобіля, положення працівників, режим вентиляції салону автомобіля, інтенсивність потрапляння пилу в салон.

14. Розроблено метод розв'язання двох пов'язаних задач, що виникають у разі пожежі на об'єктах паливно-енергетичного комплексу: визначення закономірностей формування зон теплового забруднення повітря в робочих приміщеннях у разі припливу в них зовнішнього нагрітого повітря та розрахунку нагрівання конструкцій споруд під час їх взаємодії з потоком нагрітого повітря. Метод дозволяє врахувати температуру повітря на місці пожежі, геометричну форму будівель, що розташовані поблизу осередку пожежі, метеоумови, теплофізичні параметри конструкцій, а також оперативно

визначити ризик термічного ураження працівників на відкритій місцевості, у робочих приміщеннях та час руйнування споруди.

15. Розроблено динамічну багатопараметричну чисельну модель самонагрівання твердого палива в сховищах. Модель дозволяє врахувати теплофізичні параметри палива, геометричну форму штабеля, локацію джерела самонагрівання, температуру навколишнього середовища в сховищі. Ця модель дозволяє прогнозувати ризик виникнення пожежі в сховищах та оцінити час її виникнення.

16. Розроблено багатфакторні чисельні моделі для оцінювання ризику термічного або хімічного ураження водолазів під час виконання ремонтних робіт на пошкоджених підводних трубопроводах. Моделі дозволяють визначити зони можливого ураження з урахуванням гідродинаміки течії водного потоку, інтенсивності емісії нагрітої води, емісії хімічно небезпечної речовини з пошкодженого підводного трубопроводу, геометричну форму підводної траншеї, де розташовано трубопровід.

17. Здійснено верифікацію розроблених чисельних моделей, що підтвердило їх адекватність.

18. На основі виконаних досліджень розроблено науково-методичний інструментарій прогнозування формування шкідливих факторів у робочих зонах та оцінювання ефективності застосування заходів захисту на підприємствах паливно-енергетичного комплексу України.

19. Розроблені чисельні моделі та створене на їхній базі програмне забезпечення впроваджені в Головному управлінні Державної служби України з надзвичайних ситуацій в Дніпропетровській області, а також в освітньому процесі Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури».

СПИСОК НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ, ЗАРАХОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДОКТОРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Біляєва В. В. Математичне моделювання теплового забруднення поверхневих вод. *Геотехнічна механіка*. 2012. Вип. 101. С. 295–301.

2. Беляева В. В. Математическое моделирование процесса самонагревания насыпи растительного сырья. *Вісник Дніпропетровського університету*. Серія «Механіка». 2014. № 5. Вип. 18, т. 1. С. 12–16.

3. Беляев Н. Н., Калашников И. В., Беляева В. В., Берлов А. В. Локальная защита атмосферы от загрязнения. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. № 56. С. 223–231.

4. Biliaieva V. V., Kirichenko P. S., Berlov O. V., Gabrinets V. O., Horiachkin V. M. Computer modeling of air pollution in case of dust cloud movement in open pit mine. *Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2019. № 4 (82). С. 18–25.

5. Biliaieva V. V., Kirichenko P. S., Gunko E. Y., Bondarenko I. O., Mashykhina P. B., Yakubovska Z. M. Computer simulation of dead-end mine

working ventilation. *Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2019. № 5 (83). С. 26–35.

6. Біляєв М. М., Берлов О. В., Калашніков І. В., Біляєва В. В. Моделювання затікання токсичного газу у приміщення. *Науковий вісник будівництва*. 2019. № 1 (95). С. 227–232.

7. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Чередниченко Л. А. Оцінка ризику термічного ураження у випадку аварійного горіння. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 6. С. 54–60.

8. Беликов А. С., Беляев Н. Н., Беляева В. В., Берлов А. В. Оценка уровня пылевого загрязнения рабочих зон методом математического моделирования. *Геотехнічна механіка*. 2020. № 152. С. 218–225.

9. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Козачина В. А., Калашніков І. В. Аварійне горіння твердого ракетного палива: оцінка ризику ураження людей в робочому приміщенні. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2020. Вип. 3 (87). С. 22–29.

10. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Вергун О. О. Моделювання роботи водяної завіси для захисту працівників від термічного ураження. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 2. С. 28–35.

11. Біляєва В. В. Використання математичних моделей для оцінювання рівня теплового та хімічного забруднення робочих зон. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 3. С. 39–45.

12. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Козачина В. А. Чисельне моделювання процесу самонагрівання насипу рослинної сировини з метою визначення часу початку пожежі. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 6. С. 7–13.

13. Біляєв М. М., Берлов О. В., Біляєва В. В., Козачина В. А., Русакова Т. І. Чисельне моделювання забруднення повітря біля автошляху із захисними бар'єрами. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 2. С. 7–14.

14. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Краснюк А. В., Цуркан В. В. Чисельне моделювання забруднення повітря на промисловому майданчику під час штилю. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 4. С. 7–12.

15. Biliaiev M., Biliaieva V., Kozachyna V., Berlov O., Kalashnikov I. Numerical simulation of toxic chemical transport after accidental release at chemical plant. *Romanian journal of information science and technology*. 2020. Vol. 23. N S. P. S3–S13 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Web of Science*, квартиль Q3).

16. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Sladkowski A. Application of local exhaust systems to reduce pollution concentration near the road. *Transport problems*. 2020. Vol. 15, issue 4, part 1. P. 137–148. DOI: 10.21307/tp-2020-055 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Scopus*, квартиль Q3).

17. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Sladkowski A. Computing model for simulation of the pollution dispersion near the road with solid barriers. *Transport problems*. 2021. Vol. 16, issue 2. P. 73–86. DOI: 10.21307/tp-2021-024 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, квартиль Q3).

18. Biliaiev M., Kozachyna V., Biliaieva V., Rusakova T., Berlov O., Mala Y. Constructing a method for assessing the effectiveness of using protective barriers near highways to decrease the level of air pollution. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2021. № 6/10 (114). P. 30–39 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, квартиль Q3).

19. Biliaiev M., Pshinko O., Rusakova T., Biliaieva V., Sladkowski A. Mathematical modeling of aeroion mode in a car. *Transport problems*. 2022. Vol. 17, issue 2. P. 19–32. DOI: 10.21307/tp-2020-055 (видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, квартиль Q3).

20. Біляєв М. М., Калашніков І. В., Біляєва В. В., Козачина В. А., Берлов О. В. Математичне моделювання в задачах оцінки ризику на потенційно небезпечних об'єктах: монографія. Дніпро : Журфонд, 2021. 270 с.

21. 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: монографія. Дніпро : Журфонд, 2022. 268 с.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

22. Беляєва В. В., Якубовская З. Н. Оценка уровня загрязнения атмосферы при авариях. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист* : матеріали VII всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю, 20–21 жовтня 2017 р. Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2017. С. 118.

23. Беляєв Н. Н., Беляєва В. В., Берлов А. В., Гунько Е. Ю., Козачина В. А. Математическое моделирование аварийных ситуаций на химически опасных объектах. *Проблеми цивільного захисту населення та безпеки життєдіяльності: сучасні реалії України* : матеріали V всеукр. наук.-практ. конф., 30 квітня 2019 р. Київ : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2019. С. 20–21.

24. Беляєва В. В., Долина Л. Ф., Заика А. А., Дорога О. Г. Математическое моделирование загрязнения атмосферы промышленными выбросами. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем* : матеріали IV міжнар. наук.-техн. конф., 1–2 листопада 2018 р. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2018. С. 39.

25. Беляєва В. В., Берлов А. В., Гунько Е. Ю. Компьютерное моделирование загрязнения воздушной среды в рабочих зонах. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем* : VI міжнар. наук.-техн. конф., 4–6 листопада 2020 р. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2020. С. 21–22.

26. Біляєв М. М., Берлов О. В., Оладіпо М. О., Біляєва В. В., Чередніченко Л. А. Ризик-орієнтовані моделі для рішення задач прогнозування ураження людей при виникненні надзвичайних ситуацій. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті* : VIII міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 листопада 2020 р. Дніпро, 2020. С. 19–20.

27. Беляєва В. В., Берлов А. В., Машихина П. Б. CFD моделювання в прикладних задачах. *Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур* : IX всеукр. наук. семінар, 20-21 жовтня 2020 р. Харків : ХНУБА, 2020. С. 17–18.

28. Беляєва В. В., Патенко А., Берлов А. В. Комп'ютерне моделювання чрезвычайних ситуацій на транспорті та небезпечних виробництвах. *Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті* : тези XIV міжнар. наук.-практ. конф., 15-16 грудня 2020 р. Дніпро : ДПТ, 2020. С. 166–167.

29. Беляєва В. В., Новоселець І. С., Берлов А. В. Оцінка забруднення повітряної середовища методом комп'ютерного моделювання. *Priority Directions of Science and Technology Development : abstracts of III internat. scient. and pract. conf.*, November 22-24, 2020. Kyiv, 2020. P. 307–308.

30. Беляєва В. В., Берлов А. В., Вовк В. В., Горбунов Ю. А., Горохов А. І. Моделювання екстремальних ситуацій на транспорті. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств* : тези 9-ї міжнар. наук.-практ. конф., 26-27 листопада 2020 р. Дніпро : ДНУЗТ, 2020. С. 13–14.

31. Біляєва В. В., Берлов О. В. Пакет програм «WORK-SAFE2» для моделювання забруднення робочих зон при екстремальних ситуаціях. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи* : матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф., 26 березня 2021 р. Львів : ЛДУБЖД, 2021. С. 5–6.

32. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В. Математичне моделювання наслідків нестаціонарних викидів. *Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів і комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці* : зб. матеріалів III всеукр. конф., 28 квітня 2021 р. Київ : ун-т ім. Б. Грінченка, 2021. С. 149–150.

33. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В. Математичне моделювання наслідків екстремальних ситуацій на промислових об'єктах. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні* : міжнар. наук.-техн. конф., 16-18 березня 2021 р. Дніпро, 2021. С. 107–109.

34. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Козачина В. А., Якубовська З. М. Комп'ютерне моделювання в задачах оцінювання наслідків екстремальних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем* : VII міжнар. наук.-техн. конф., 3-5 листопада 2021 р. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2021. С. 15–16.

35. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Козачина В. А., Якубовська З. М. Оцінювання наслідків екстремальних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах методом математичного моделювання. *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах* : матеріали всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 2-3 листопада 2021 р. Харків : ХНАДУ, 2021. С. 195–197.

36. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Козачина В. А. Чисельні моделі для експрес оцінювання ризику ураження при аварійних ситуаціях. *Trends and Prospects Development of Science and Practice in Modern Environment* : abstracts of X internat. science conf., November 22–24, 2021. Geneva, 2021. P. 326–327.

37. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Козачина В. А., Русакова Т. І. Екстремальні ситуації на транспорті – моделі для оцінювання ризику ураження персоналу. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств* : матеріали 10-ї міжнар. наук.-практ. конф., 25-26 листопада 2021 р. Дніпро : ДНУЗТ, 2021. С. 16–17.

38. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Вергун О. О., Якубовська З. М. Комп'ютерне моделювання та пакети програм для експрес оцінювання наслідків аварійних ситуацій. *Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіти* : тези XV міжнар. наук.-практ. конф., 16–17 грудня 2021 р. Дніпро : ДІТ, 2021. С. 57.

39. Біляєва В. В., Машихіна П. Б., Гунько О. Ю. Чисельне моделювання в задачах охорони праці та екологічної безпеки. *Modern Challenges to Science and Practice* : abstracts of III internat. scientific and pract. conf., january 24–26, 2022. Varna, Bulgaria, 2022. P. 553–554.

40. Біляєва В. В., Гунько О. Ю., Машихіна П. Б. Оцінювання ризику ураження персоналу та забруднення навколишнього середовища методом математичного моделювання. *Actual Problems of Practice and Science and Methods of its Solution* : abstracts of IV internat. science conf., january 31 – february 02, 2022. Milan, Italy, 2022. P. 626.

41. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Русакова Т. І., Берлов О. В., Козачина В. А. Використання математичних моделей в задачах оцінювання наслідків екстремальних ситуацій на промислових об'єктах. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні* : тези доп. XIII міжнар. наук.-техн. конф., 18 травня 2022 р. Дніпро : НМетАУ, 2022. С. 99–100.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

42. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Калашніков І. В. Математичне моделювання затікання токсичного газу у приміщення при аварії на промисловому майданчику. *Математичне моделювання*. 2018. № 2 (39). С. 95–101.

43. Biliaiev M., Kozhachyna V., Biliaieva V., Mutiu Olatoye Oladipo, Chernyatyeva K. Modeling of the atmosphere pollution from coal trains. *MATEC Web of Conferences* 294, 02007 (2019), EOT-2019. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201929402007> (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Web of Science*).

44. Biliaiev M. M., Biliaieva V. V., Kozachyna V. A., Berlov O. V., Oladipo M. O., Kirichenko P. S. Reducing of coal dust release from train wagon with barrier. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 985 (2020) 012018, p. 1–7. doi: 10.1088/1757-899X/985/1/012018 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Scopus*).

45. Biliaiev M., Biliaieva V., Berlov O., Kozachyna V., Kirichenko P., Oladipo M. O., Poltoratska V. Modeling coal dust dispersion from pile with protection

barriers. E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 168. P. 1–6. DOI: 10.1051/e3sconf/202016800021 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Web of Science*).

46. Biliaiev M., Rusakova T., Biliaieva V., Kozachyna V., Oladipo M. Road with fan for reducing exposure to traffic emissions. Proceedings of 25th International Scientific Conference. Transport Means 2021, October 6-8, Part II, Kaunas, Lithuania, p. 638–643 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Scopus*).

47. Biliaiev M., Biliaieva V., Kozachyna V., Berlov O., Gunko O., Rusakova T. Numerical model for evaluation efficiency of coal pile wetting. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 970 (012037). DOI: 10.1088/1755-1315/970/1/012037 (видання включено до міжнародної наукометричної бази *Scopus*).