

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



**РУСАКОВА ТЕТЯНА ІВАНІВНА**

УДК 658.345:[502.3:658.5(043.3)]

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ТА ПРАКТИЧНОЇ ОЦІНКИ  
ШКІДЛИВИХ ФАКТОРІВ В РОБОЧИХ ЗОНАХ НА ТЕРИТОРІЇ  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

05.26.01 – охорона праці

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Біляєв Микола Миколайович,**  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
завідувач кафедри гідравліки та водопостачання.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Глива Валентин Анатолійович,**  
Національний авіаційний університет, завідувач кафедри цивільної та промислової безпеки;

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

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

Захист відбудеться 30 січня 2020 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 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/>.

Автореферат розісланий «\_\_» грудня 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Т.С. Кравчуновська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Сутність науково-прикладної проблеми**, яка розглядається в роботі, полягає в обґрунтуванні та розробці методичних основ для оцінювання параметрів повітряного середовища і забезпечення допустимих умов праці на робочих місцях промислових майданчиків та при проектуванні робочих місць на відкритій місцевості в промислових зонах, шляхом розробки математичних методів прогнозування ризику хронічної інтоксикації працівників, розроблення способів його зниження на основі ефективних інженерних засобів захисту.

**Актуальність теми.** Забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища в робочих зонах є однією з головних проблем у сфері охорони праці. Розв'язання цієї проблеми є специфічним, оскільки обумовлюється різними небезпечними чинниками, які виникають на виробництві, тому дослідження в конкретній галузі завжди мають виробничу спрямованість. Значні теоретичні та кількісні дослідження були проведені стосовно параметрів повітряного середовища на робочих місцях у виробничих приміщеннях. Значно менше уваги було приділено проблемі забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища в робочих зонах, які розміщуються на майданчиках промислових підприємств та територіях підприємств.

Оцінювання та прогнозування параметрів повітряного середовища в робочих зонах промислових майданчиків та на відкритій території виявляється особливо складною задачею, оскільки робочі місця перебувають під впливом багатьох факторів: руху повітряного потоку, турбулентної дифузії, наявності різних перешкод, джерел емісії різного виду. Присутність такого комплексу факторів суттєво ускладнює розроблення методів прогнозування параметрів повітряного середовища в робочих зонах промислових майданчиків та на відкритій місцевості.

Необхідність вирішення проблеми об'єктивного оцінювання та прогнозування якості повітря в робочих зонах промислових майданчиків підтверджується підвищенням рівня ризику хронічних захворювань робітників. Таким чином, актуальною проблемою є розроблення методів прогнозування ризиків хронічних захворювань робітників та визначення закономірностей розподілу шкідливих виробничих чинників.

Існує необхідність у розробленні методів прогнозування параметрів повітряного середовища, які б комплексно враховували вплив вищезазначених факторів, а також дозволяли оперативно аналізувати умови праці на робочих місцях та виконувати оцінювання ризику хронічної інтоксикації працівників. Для цього необхідна подальша розробка математичних методів, які визначають поширення та системи заходів і технічних засобів, що зменшують вплив шкідливих факторів на працівників. Така система заходів містить у собі очищення повітря в робочій зоні від шкідливих речовин, забезпечення нормативних параметрів температури, вологості, швидкості руху повітря, іонізації повітряного середовища. Не менш важливим питанням є розробка ефективних інженерних засобів захисту працівників на промислових майданчиках від впливу різних шкідливих чинників, зниження рівня

забруднення повітряного середовища та забезпечення допустимих умов праці на робочих місцях.

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

Дисертаційна робота виконана згідно з Законом України від 4 квітня 2013 року № 178-VII «Про затвердження Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки», згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 12 грудня 2018 року № 989-р «Про схвалення Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні та затвердження плану заходів щодо її реалізації». Наукові дослідження, викладені в дисертації, виконані згідно з напрямом наукової роботи кафедри гідравліки та водопостачання Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, відповідно до програм науково-дослідних робіт: «Моделювання процесів забруднення навколишнього середовища при надзвичайних ситуаціях та організованих викидах забруднюючих речовин» (№ держреєстрації 0115U007226, 2016-2018 рр.), «Захист навколишнього середовища на об'єктах транспортної інфраструктури» (№ держреєстрації 0115U007227, 2016-2018 рр.); «Розробка методів аналізу та прогнозу якості повітряного середовища в робочих та цивільних приміщеннях» (№ держреєстрації 0115U007224, 2016-2018 рр.) у рамках договору № 07/2014-У від 03.11.2014 р. про науково-технічну співпрацю між Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна і Головним управлінням Державної служби з надзвичайних ситуацій у Дніпропетровській області.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка теоретичного інструментарію для оцінювання шкідливих факторів у робочих зонах на відкритій території промислових підприємств, прогнозування ризиків хронічних захворювань робітників та створення ефективних інженерних засобів захисту від впливу шкідливих чинників.

Поставлена мета зумовила необхідність вирішення наступних завдань дослідження:

– розробити метод оцінювання рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах на промислових майданчиках для визначення закономірностей формування зон забруднення та оцінювання ризику виникнення хронічних захворювань працівників;

– встановити закономірності формування аероіонного режиму в робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств на основі методу чисельного моделювання;

– встановити закономірності розподілу напруженості електричного поля в робочих зонах на основі створеної чисельної моделі розрахунку;

– розробити чисельно-аналітичний метод, який дозволить визначити ефективність використання захисних екранів для зниження загазованості повітря в робочих зонах;

– розробити в створеному інструментарії окремі складові (модулі), що базуються на застосуванні екоінжинірингу для зниження загазованості в робочих зонах;

– опрацювати технологію зниження хімічного забруднення в робочих зонах на промислових майданчиках за рахунок використання дворівневих усмоктувачів;

– удосконалити технологію нейтралізації чадного газу у спеціальній камері відбору повітря для зниження рівня загазованості повітряного середовища в робочих зонах;

– розробити комплексний метод оцінювання параметрів повітряного середовища в робочих зонах на відкритій місцевості, який дозволить прогнозувати вітровий режим, вологість та температуру в робочих зонах;

– провести верифікацію розроблених методів.

**Об’єкт дослідження** – процеси техногенного забруднення в робочих зонах на території промислових підприємств.

**Предмет дослідження** – встановлення закономірностей розподілу шкідливих факторів в робочих зонах та розробка методів зниження їх негативного впливу для забезпечення нешкідливих умов праці.

**Методи дослідження:** методи натурного та лабораторного вимірювання, а також чисельні та чисельно-аналітичні методи моделювання полів концентрації забруднюючої речовини та електричного напруження в робочих зонах, математичні методи теорії функцій комплексного змінного для знаходження поля швидкості повітряного потоку біля екранів. Результати експериментальних досліджень порівнювалися з чисельними розрахунками, отриманими за розробленими методами.

**Наукова новизна отриманих результатів** визначається комплексним підходом до оцінювання та прогнозування впливу шкідливих факторів у робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств, а саме:

– вперше розроблено чисельно-аналітичний метод, який дозволяє проводити дослідження щодо ефективності застосування на промислових майданчиках поблизу автомагістралей екранів, які використовуються для зменшення рівня забруднення повітря в робочих зонах при виконанні робіт;

– вперше обґрунтовано та розроблено метод оцінювання аероіонного режиму в робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств, який дозволяє при розрахунку враховувати взаємодію аероіонів різної полярності, наявність перешкод у робочих зонах, нерівномірність поля швидкості повітряного потоку та турбулентну дифузію;

– вперше розроблено комплексну методологію оцінювання рівнів шкідливих чинників у робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств, яка дозволяє прогнозувати вітровий режим, вологість та температуру в робочих зонах за наявності використання штучного зволожувача повітря;

– удосконалено методологічні засади технології зниження хімічного забруднення у робочих зонах за рахунок використання дворівневих

усмоктувачів та спеціальних напрямних пластин; розроблено чисельний метод для оцінювання ефективності використання дворівневих усмоктувачів;

– одержала подальшого розвитку методологія оцінювання рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах на промислових майданчиках та відкритій місцевості, яка дозволяє врахувати хімічну трансформацію забруднюючих речовин на базі тривимірних рівнянь розрахунку полів концентрації домішок та виконати оцінювання ризику виникнення хронічних захворювань працівників;

– одержав подальший розвиток метод оцінювання напруженості електричного поля в робочих зонах, який дозволяє враховувати вплив перешкод різної геометричної форми на формування електричних полів;

– одержав подальший розвиток метод зниження загазованості в робочих зонах із урахуванням впливу рослинності (екоінжинірингу) на формування зон забруднення та зниження рівня хронічних захворювань;

– одержала подальший розвиток методологія розрахунку процесу нейтралізації чадного газу в спеціальній камері, що використовується з метою зменшення рівня хімічного забруднення в робочих зонах.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

– усі розроблені методи оцінювання шкідливих факторів та прогнозування ризиків хронічних захворювань робітників в робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств реалізовані у вигляді комп'ютерних програм;

– проведення обчислювальних експериментів дозволяє оперативно розраховувати параметри повітряного середовища в робочих зонах на промислових майданчиках та на відкритій місцевості з комплексним урахуванням таких факторів, які раніше не приймалися до уваги: нерівномірного поля швидкості повітряного потоку, турбулентної дифузії, наявності екранів, різного роду перешкод, джерел зволоження, джерел емісії аероіонів різної полярності;

– розроблені методи дозволяють покращити параметри повітряного середовища в робочих зонах на відкритій місцевості за рахунок раціонального вибору положення, розмірів екранів, усмоктувачів, рослинності, іонізаторів;

– розроблені методи оцінювання шкідливих факторів у робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств дозволяють зменшити кількість дорогих лабораторних або натурних експериментів при проведенні досліджень щодо відповідності нормативним значенням параметрів повітряного середовища та при реінжинірингу робочих місць;

– результати впроваджені в діяльності приватного підприємства «РИН», де модулі програмного комплексу було застосовано для оцінювання параметрів повітряного середовища в робочих зонах при аналізі використання майданчиків машино-транспортного парку та їх реконструкції;

– розроблені математичні методи та пакети програм застосовано для прогнозування рівня хімічного забруднення на території ТОВ «Енергосервіс-КР» при плануванні та реінжинірингу робочих місць на відкритій місцевості підприємства; отримано прогнозні дані відносно аероіонного режиму, які неможливо отримати на базі існуючих методів прогнозування;

– розроблені методи прогнозування рівня електромагнітного випромінювання та програми чисельного розрахунку використовуються в службі охорони праці АТ ДТЕК «Дніпровські електромережі», які дозволяють шляхом обчислювального експерименту розраховувати інтенсивність напруженості електричного поля з урахуванням необхідної кількості джерел електричного поля;

– рекомендації щодо покращення якості повітря в робочих зонах на відкритих майданчиках (обслуговування автомобільної техніки) впроваджено в Товаристві з обмеженою відповідальністю «ЛУГОВСЬКЕ»;

– результати використовуються в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці студентів, які навчаються за спеціальністю «Будівництво та цивільна інженерія», зокрема при викладанні таких навчальних дисциплін: «Охорона природного середовища від забруднення промисловими підприємствами», «Прогнозування та ліквідація аварійних ситуацій».

**Особистий внесок здобувача** в наукових працях, опублікованих із співавторами, полягає в: обґрунтуванні вибору методів розрахунку вітрового режиму в робочих зонах [33, 47–48, 50]; розробці методів оцінювання рівня забруднення повітря в зоні впливу міських автомагістралей [2, 24–25, 28–29, 37, 52]; математичному моделюванні процесу розсіювання викидів від постійно діючих джерел техногенного забруднення [1, 7–9, 12–13, 35–36, 38–40, 45]; розробці програмного забезпечення для комплексного оцінювання хімічного забруднення повітря з урахуванням впливу викидів підприємств та автомагістралі при оцінюванні рівня ризику хронічних захворювань [3, 20, 41]; математичному моделюванні процесів вентиляції [26–27, 49, 51]; розробці методів прогнозування локальних зон забруднення поблизу автомагістралі з урахуванням рослинності [14, 23]; розробці методів оцінювання впливу шкідливих виробничих чинників у робочих зонах на відкритій місцевості [17–19, 43–44, 46]; розробці технології зменшення концентрації оксиду вуглецю та методу розрахунку [10–11, 16, 42]; чисельному моделюванні процесів очищення води [30–32, 34]; дослідженні та моделюванні процесів масопереносу та нейтралізації [4–6, 30–32]; створенні методики розрахунку електричного поля в робочих зонах [15]; розробці чисельно-аналітичного методу прогнозування рівня забруднення повітряного середовища та оцінювання ризику хронічних захворювань на території промислових майданчиків підприємств із урахуванням екранів [21].

**Апробація матеріалів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і одержали позитивні оцінки на наукових конференціях і семінарах: IV Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку та безпека автотранспортного комплексу» (м. Новокузнецьк, 2014 р.), II Міжнародній науково-практичній конференції «Природні небезпеки: зв'язок науки і практики» (м. Саранськ, 2015 р.), 75-й та 76-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2015 р., 2016 р.), II

Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (м. Івано-Франківськ, 2015 р.), I, II Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (м. Дніпропетровськ, 2015 р., 2016 р.), III–V Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологія та захист навколишнього середовища» (м. Мінськ, 2016 р., 2018 р., 2019 р.), X–XII Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (м. Дніпро, 2016–2018 рр.), 9–10 Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м. Дніпро, 2017 р., 2018 р.), III–IV Міжнародних науково-технічних конференціях «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (м. Дніпро, 2017 р., 2018 р.), Міжнародному науковому симпозиумі «Тиждень еколога – 2017» (м. Кам'янське, 2017 р.), VI Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (м. Дніпро, 2017 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека: наука і практика» (м. Черкаси, 2018 р.), Всеукраїнській науково-методичній конференції «Проблеми математичного моделювання» (м. Кам'янське, 2018 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні проблеми енергоресурсозбереження в будівництві, містобудуванні та житлово-комунальному господарстві» (м. Запоріжжя, 2018 р.), Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference «International Trends in Science and Technology» (м. Варшава, 2019 р.).

**Публікації.** Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображено в 52 публікаціях, у тому числі 29 статтях, з яких 22 – у наукових фахових виданнях України (з них 2 – у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus, 5 – у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus) та 1 – у зарубіжному науковому виданні, 23 тезах доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох додатків загальним обсягом 367 сторінок, з яких 289 сторінок основного тексту. Робота містить 30 таблиць, 167 рисунків, список використаних джерел з 252 бібліографічних найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами; сформульовано мету та завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів; зазначено особистий внесок автора роботи, наведено відомості про апробацію досліджень та публікації.

В **першому розділі** дисертаційної роботи виконано аналіз проблеми стосовно робочих зон працівників промислових майданчиків, що знаходяться на відкритому повітрі. Така категорія працівників постійно знаходиться під впливом небезпечних та шкідливих виробничих чинників. Однією зі складових



позитивної діяльності підприємств є виробнича безпека, яка обумовлена оцінкою ризику хронічних захворювань робітників. Необхідність вирішення проблеми об'єктивної оцінки безпеки і якості повітря в робочих зонах на промислових майданчиках підтверджується підвищенням ризику хронічних захворювань робітників. Доведено, що актуальною проблемою є розробка методів оцінювання та прогнозування ризиків хронічних захворювань робітників, визначення закономірностей розподілу шкідливих виробничих чинників. Актуальність обумовлена ризикоорієнтованим підходом для забезпечення впровадження стандартів Європейського Союзу відповідно до концепції реформування системи управління охороною праці в Україні.

Крім цього, дуже важливим питанням є розроблення ефективних інженерних засобів захисту працівників на промислових майданчиках від впливу різних шкідливих чинників. Створення технологій, направлених на вирішення такої проблеми, є одним із важливих напрямів в області безпеки праці.

Сучасний стан питання теоретичного та експериментального дослідження хімічного, аероїнного, електричного навантаження в різних виробничих умовах відображено в роботах вітчизняних авторів: В. Т. Алімова, Є. Г. Андреевої, А. Є. Басманова, А. С. Белікова, М. М. Біляєва, В. А. Гливи, В. І. Голінька, Л. В. Драннікова, В. Ф. Стоєцького, С. В. Сукача, О. І. Запорожця, І. І. Попова, О. В. Строканя, І. А. Колеснікова, В. В. Меньшикова, А. А. Швирияєва, М. Г. Пантелята, С. Н. Степаненка, І. А. Толкунова, В. В. Барбашина, К. А. Чорного, а також в роботах зарубіжних авторів: M. Alwetaishi, Akula Venkatram, Q. Deng, L. Chan, Y. Wang, Z. Huang, M. S. Thompson, S. Chaofeg, Y. Juan, L. Chew, N. Nazarian, C. Zhu, W. C. Hinds, V. Rumiantsev, N. Yakubin, David Heist, Vlad Isakov, K. M. Zhang, E. Haber, F. Dominici, J. Franke, M. D. Gibson.

Виконано аналіз газового складу повітряного середовища у робочих зонах на промислових майданчиках та на відкритій місцевості промислових регіонів. Доведено, що зміна газового складу повітря відбувається в результаті техногенного впливу викидів промислових підприємств та автотранспорту, що рухається поблизу робочих зон. Проаналізовано шкідливі речовини, що потрапляють у повітря під час роботи різних видів промислових об'єктів. Проаналізовано підприємства міста Дніпро, що поділяються за сферою діяльності і є активними джерелами забруднення атмосферного повітря. Для більш детального аналізу було обрано три активних підприємства з найбільшими викидами забруднювачів: Дніпровський металургійний завод «ЄВРАЗ», Нижньодніпровський трубопрокатний завод «Інтерпайп», Дніпропетровський олійноекстракційний завод. Представлено загальну кількість викидів підприємств у 2016 р. та 2017 р., кількісні показники різних сполук за їх хімічною класифікацією, які потрапляють в атмосферу від цих підприємств. Доведено, що працівники на промислових майданчиках та на відкритій місцевості промислових регіонів потрапляють під довготривалий вплив викидів промислових підприємств.

Проаналізовано методи оцінювання ризику захворювань працівників у робочих зонах на промислових майданчиках та на відкритій місцевості промислових регіонів, що є однією з основних проблем в охороні праці. Обґрунтовано підвищений ризик розвитку захворювань та виникнення несприятливих наслідків для людей цієї категорії. Доведено, що для практичних досліджень важливо мати методи, що дозволяють швидко провести розрахунки щодо оцінювання впливу рослинності, відсмоктувачів, екранів на зниження рівня забруднення повітря в робочих зонах. Аналіз наукових праць показав, що забезпечення певною мірою іонізації повітряного середовища в робочій зоні є одним із найважливіших чинників підтримання гарного самопочуття і високої працездатності робітників. Доведено необхідність розроблення нових методів, які б дозволяли швидко прогнозувати рівень електричного напруження з урахуванням перешкод та складної геометричної форми ділянки. Також виконано обґрунтування обраного наукового напрямку.

В **другому розділі** для забезпечення допустимих умов праці на робочих місцях промислових майданчиків при їх проектуванні розроблено методи для оцінювання рівня забруднення повітряного середовища в робочих зонах, які враховують як викиди точкових або лінійно розподілених джерел забруднення, так і їх взаємодію та хімічну трансформацію.

Також розроблені методи комплексного просторово-часового оцінювання ризику виникнення хронічних захворювань для робітників на відкритих місцевостях промислових підприємств та на житловій території, що знаходяться в зоні впливу викидів автомагістралей та підприємств.

Для моделювання хімічного забруднення використовується тривимірне рівняння переносу домішки:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_z \frac{\partial C}{\partial z}) + \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i), \quad (1)$$

де  $C$  – концентрація забруднюючої речовини в одиниці об'єму повітря;

$Q_i(t)$  – інтенсивність викиду від промислового підприємства або автотранспорту;

$u, v, w$  – компоненти вектору швидкості повітряного середовища в декартовій системі координат  $(x, y, z)$ , де площина  $хоу$  відповідає поверхні Землі;

$w_s$  – швидкість гравітаційного осідання вагомих частинок забруднюючої речовини;

$\sigma$  – коефіцієнт розпаду, хімічного розкладання забруднення, що враховує зміну концентрації домішки впродовж часу;

$\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коефіцієнти турбулентної дифузії;

$x_i, y_i, z_i$  – координати місця розташування джерел викиду забруднюючої речовини (промислового підприємства або автомагістралі);

$\delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$  – дельта-функції Дірака, за допомогою яких моделюється викид забруднювача.

Диференціальне рівняння (1) описує розсіювання забруднюючої речовини в просторовій області  $R$ , що обмежена земною поверхнею  $z = f_0(x, y)$  та верхньою межею вертикального розповсюдження забруднення  $z = H$ , яку можна представити у вигляді обмежуючої площини, де вертикальна швидкість повітряного потоку  $w|_{z=H} = 0$ . Форма області на земній поверхні є прямокутною, компоненти швидкості повинні задовольняти рівнянню неперервності:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Постановка початкових та граничних умов для рівняння (1) полягає в наступному. На бічних гранях: на частині границі  $\Gamma_1$ , де потік входить у розрахункову область, концентрація забруднення, що вноситься зовні, зазвичай не враховується, а саме  $C_{\Gamma_1} = 0$  на частині границі  $\Gamma_1$ , де  $\vec{V} \cdot \vec{n} < 0$ ; на частині границі  $\Gamma_2$ , де повітряні маси витікають із розрахункової області, нехтують дифузійним переносом відносно до конвективного, тобто  $\partial C / \partial n|_{\Gamma_2} = 0$  на границі  $\Gamma_2$ , де  $\vec{V} \cdot \vec{n} \geq 0$ . На верхній границі можливого розповсюдження забруднення вертикальна складова швидкості  $w = 0$ , тому може бути поставлена умова відсутності дифузійного переносу на границі  $\partial C / \partial z|_{z=Z} = 0$  або умова  $C|_{z=Z} = 0$ , яку слід використовувати для забруднюючих речовин, які мають найбільшу вагу.

Якщо виконується умова внесення зовні в розрахункову область кількості забруднюючої речовини з концентрацією  $C_s$ , то гранична умова має вигляд  $C_{\Gamma_1} = C_s$  на частині границі  $\Gamma_1$ , де  $\vec{V} \cdot \vec{n} < 0$ .

Початкова умова для рівняння (1)  $C|_{t=0} = 0$  або  $C|_{t=0} = C_0$ .

В рівнянні (1) джерелами забруднення є викиди із заводських труб підприємства, транспорту, що моделюються точковими або лінійними джерелами відомого місця знаходження та відомої потужності  $Q_i$ , яка може змінюватися з часом. Розрахунок концентрації хімічних речовин в робочих зонах базується на застосуванні метода чисельного інтегрування рівняння (1).

Застосовується поперемінно-трикутний алгоритм розщеплення для чисельного інтегрування рівняння (1), де невідомі значення концентрації  $C$  визначаються в центрах різницевих комірок, а компоненти вектору швидкості  $u, v, w$  – на гранях різницевих комірок. Виконується розщеплення рівняння (1) на часовому проміжку  $t \in [t^n, t^{n+1}]$  на послідовність рівнянь більш простого виду. Алгоритм розщеплення вихідної задачі можна записати в диференційній формі (3).

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^+ C) + \frac{1}{4} \sigma C = \frac{1}{4} \left( \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{1x} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{1y} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{1z} \frac{\partial C}{\partial z}) \right); \\
\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^- C) + \frac{1}{4} \sigma C = \frac{1}{4} \left( \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{2x} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{2y} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{2z} \frac{\partial C}{\partial z}) \right); \\
\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^- C) + \frac{1}{4} \sigma C = \frac{1}{4} \left( \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{2x} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{2y} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{2z} \frac{\partial C}{\partial z}) \right); \\
\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{2} \operatorname{div}(\vec{V}^+ C) + \frac{1}{4} \sigma C = \frac{1}{4} \left( \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\mu}_{1x} \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\mu}_{1y} \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\mu}_{1z} \frac{\partial C}{\partial z}) \right); \\
\frac{\partial C}{\partial t} = \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i).
\end{array} \right. \quad (3)$$

Початкова умова для кожного рівняння розщеплення (3) має такий вид:

$$C \Big|_{t=t^n} = C(x, y, z, t^n), \quad C \Big|_{t=t^n}^k = C \Big|_{t=t^{n+1}}^{k-1}, \quad C(x, y, z, t^{n+1}) = C \Big|_{t=t^{n+1}}^5.$$

В системі рівнянь (3) використовуються позначення:

$$\begin{aligned}
\vec{V}^+ &= [u^+, v^+, w^+], \quad \vec{V}^- = [u^-, v^-, w^-], \\
u^+ &= \frac{u + |u|}{2}, \quad u^- = \frac{u - |u|}{2}, \quad v^+ = \frac{v + |v|}{2}, \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}, \quad w^+ = \frac{w + |w|}{2}, \quad w^- = \frac{w - |w|}{2}, \\
\bar{\mu}_x &= \frac{\mu}{1 + \frac{u^+ \Delta x}{\mu}}, \quad \bar{\mu}_y = \frac{\mu}{1 + \frac{v^+ \Delta y}{\mu}}, \quad \bar{\mu}_z = \frac{\mu}{1 + \frac{w^+ \Delta z}{\mu}}.
\end{aligned}$$

Кожне рівняння системи (3) описує один напрямок переносу збурень через грані різницевої комірки: перше і четверте – в додатному напрямку координатних вісей  $x$ ,  $y$ , та  $z$ , а друге та третє – у від'ємному напрямку. П'яте рівняння враховує зміну величини концентрації в просторі під дією джерел викиду.

Одним із основних забруднювачів навколишнього середовища при роботі промислових та енергетичних підприємств є сполуки сірки. Найбільш небезпечним для життя і здоров'я людей є діоксид сірки  $SO_2$ , що утворюється при спалюванні органічного палива (вугілля, нафти), що містить сірку, а також при промисловій переробці сировини, що вміщує сірку. Викиди діоксиду сірки також обумовлені роботою теплоенергетичних установок. Процес розсіювання  $SO_2$  в атмосфері супроводжується низкою хімічних реакцій, врахувати які при моделюванні практично неможливо. Для моделювання забруднення робочих зон викидами  $SO_2$  було використано двомірний аналог рівняння (1). Розглядалося рівняння (1), осереднене по висоті переносу домішки, з урахуванням процесу утворення сірчаної кислоти при взаємодії  $SO_2$  з водяними парами  $H_2O$  в повітряному середовищі робочих зон.

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} + \frac{\partial u[SO_2]}{\partial x} + \frac{\partial v[SO_2]}{\partial y} = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad}[SO_2]) + \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (4)$$

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} = -\sigma \cdot [SO_2] \cdot [H_2O], \quad (5)$$

$$\frac{\partial[H_2O]}{\partial t} + \frac{\partial u[H_2O]}{\partial x} + \frac{\partial v[H_2O]}{\partial y} = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad}[H_2O]), \quad (6)$$

$$\frac{\partial[H_2SO_4]}{\partial t} + \frac{\partial u[H_2SO_4]}{\partial x} + \frac{\partial v[H_2SO_4]}{\partial y} = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad}[H_2SO_4]), \quad (7)$$

$$\frac{\partial[H_2SO_4]}{\partial t} = \sigma \cdot [SO_2] \cdot [H_2O], \quad (8)$$

де  $[SO_2]$  – концентрація двоокису сірки;

$[H_2O]$  – концентрація водяної пари;

$[H_2SO_4]$  – концентрація сірчаної кислоти;

$u, v$  – компоненти вектору швидкості вітру, осереднені по висоті перенесення;

$\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коефіцієнт турбулентної дифузії;

$Q_i(t)$  – інтенсивність викиду забруднювача  $SO_2$ ;

$\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функція Дірака;

$x_i, y_i$  – координати джерела викиду;

$\sigma$  – коефіцієнт, що враховує хімічний розпад  $SO_2$ ,  $\sigma = 0,027 \text{ год}^{-1}$ ;  $t$  – час.

Вміст водяної пари в атмосфері приймаємо 60 %.

Рівняння (4), (6), (7) описують розсіювання викидів  $SO_2$ , водяної пари  $H_2O$  і сірчаної кислоти  $H_2SO_4$  під дією вітру і атмосферної дифузії. Рівняння (5), (8) враховують зміну концентрації  $SO_2$  за рахунок утворення сірчаної кислоти  $H_2SO_4$  і зміни її концентрації за рахунок хімічної трансформації  $SO_2$ . Додатково було враховувати процес взаємодії  $SO_2$  з аміаком, який міститься в атмосферному повітрі промислових міст. Наявність аміаку в атмосферному повітрі населених пунктів приймалася на рівні середньодобової гранично допустимої концентрації  $0,04 \text{ мг/м}^3$  або відомого значення, що потрапляє в повітряне середовище від діяльності підприємства. Для врахування взаємодії  $SO_2$  з аміаком на кожному часовому кроці виконується інтегрування наступного рівняння:

$$\frac{\partial[SO_2]}{\partial t} = -\sigma_{H_2SO_4} \cdot [NH_3] \cdot [SO_2], \quad (9)$$

де  $[NH_3]$  – концентрація аміаку в атмосферному повітрі,  $\sigma_A = 0,003 \text{ год}^{-1}$ .

Постановка крайових умов для цих рівнянь розглянута в роботах В. К. Аргучінцева, Г. І. Марчука і А. А. Самарського. Чисельне інтегрування рівнянь переносу домішки (4), (6), (7) проводиться за допомогою неявної різницевої схеми розщеплення, розробленої А. А. Самарським.

Важливою практичною задачею дослідження розсіювання забруднення в

робочих зонах є врахування впливу геометричних форм перешкод, що розташовуються біля робочої зони працівника. Вони виступають перешкодами на шляху повітряного потоку і впливають на деформацію швидкості повітряного потоку вітру. Найпростішою моделлю для описання зміни структури руху повітряних мас, що викликана наявністю різного роду перешкод на їх шляху, виступає модель потенційної течії. Оскільки вектор швидкості повітряних мас у досліджуваній області  $\vec{V} = \text{grad } P$ , то для визначення швидкості переміщення повітряних мас в досліджуваній області використовується рівняння Лапласа:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0. \quad (10)$$

Гранична умова для однозначного розрахунку швидкості  $\vec{V}$  при інтегруванні рівняння (10):  $\partial P / \partial n = 0$  виконується на твердих непроникливих границях земної поверхні, представленій у виді кусково-постійної поверхні; на горизонтальних елементах цієї поверхні гранична умова набуває вид  $\partial P / \partial z = 0$ , на вертикальних ділянках  $\partial P / \partial x = 0$  або  $\partial P / \partial y = 0$  в залежності від орієнтації.

На вертикальних площинах розрахункової області, де відбувається втікання в неї повітряних мас, задається значення нормальної похідної потенціалу швидкості  $\partial P / \partial n = V_n$ , тобто відома нормальна складова швидкості повітря  $V_n$ , що рухається в середину розрахункової області.

На вертикальних границях, де відбувається витікання повітря із розрахункової області, необхідно задавати значення потенціалу швидкості, тобто компоненти швидкості повітряних мас в дотичних напрямках до граничних площин:  $P = P_*(x = \text{const}, y, z) + \text{const}$  або  $P = P_*(x, y = \text{const}, z) + \text{const}$ .

Тобто на вихідних границях розрахункової області задається лише напрямок можливого руху повітря. Оскільки для більшості практичних задач геометрична форма будівель у робочій зоні не змінює головного напрямку руху повітря, то потенціал швидкості на вихідних границях можна задати  $P = U \cdot x + V \cdot y + \text{const}$ , де  $U, V$  – проекції швидкості вітру на осі координат.

На верхній границі  $z = H$  розрахункової області задається умова непротікання повітряних мас  $\partial P / \partial z = 0$ , оскільки границя  $z = H$  вибирається так, щоб її положення суттєво не впливало на течію повітря поблизу земної поверхні.

Рівняння Лапласа (10) приводиться до рівняння еволюційного виду із застосуванням встановлення рішення за часом:

$$\frac{\partial P}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2}, \quad (11)$$

де  $\eta$  – фіктивний час, при  $\eta \rightarrow \infty$  розв'язок рівняння (11) прямує до розв'язку рівняння Лапласа. Слід підкреслити, що для розв'язання даного рівняння необхідно задати початкову умову, тобто поле потенціалу при  $\eta = 0$ .

Наприклад, можна прийняти  $P = 0$  в усій розрахунковій області при  $\eta = 0$ . Для чисельного інтегрування еволюційного рівняння (11) використовують метод Самарського.

Різницеві рівняння в цьому випадку мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j,k}^{n+1/2} - P_{i,j,k}^n}{0,5\Delta\eta} = & \frac{P_{i+1,j,k}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta x^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i-1,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \\ & + \frac{P_{i,j+1,k}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta y^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j-1,k}^{n+1/2}}{\Delta y^2} + \\ & + \frac{P_{i,j,k+1}^n - P_{i,j,k}^n}{\Delta z^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j,k-1}^{n+1/2}}{\Delta z^2}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{P_{i,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1/2}}{0,5\Delta\eta} = & \frac{P_{i+1,j,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i-1,j,k}^{n+1/2}}{\Delta x^2} + \\ & + \frac{P_{i,j+1,k}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j-1,k}^{n+1/2}}{\Delta y^2} + \\ & + \frac{P_{i,j,k+1}^{n+1} - P_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} + \frac{-P_{i,j,k}^{n+1/2} + P_{i,j,k-1}^{n+1/2}}{\Delta z^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Чисельне розв'язання тривимірного рівняння (13) для визначення потенціалу швидкості здійснюється двома кроками. На першому знаходять «проміжне» значення потенціалу  $P_{i,j,k}^{n+1/2}$  на часовому шарі « $n+1/2$ », а на другому – «остаточне» значення потенціалу  $P_{i,j,k}^{n+1}$  на часовому шарі « $n+1$ ». Гранична умова непротікання  $\partial P / \partial n = 0$  реалізується шляхом використання фіктивних різницевих комірок. Отримані співвідношення (12)–(13) застосовуються і у випадку двовимірної постановки задачі без компонент, що відповідають за координату  $z$ .

Компоненти вектору швидкості повітряного потоку на гранях осередків:

$$u_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x}, \quad v_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y}, \quad w_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z}. \quad (14)$$

Як відомо, ризик – категорія ринкової економіки, яка є поняттям багатоплановим. Класифікація ризиків проводиться в залежності від основної причини виникнення ризиків. Для працівників, що знаходяться в робочій зоні, яка безпосередньо потрапляє під вплив дії шкідливих викидів, особливо важливим параметром безпеки на робочому місці є рівень ризику, а саме отримання інформації, необхідної для попередження негативних наслідків для здоров'я і умов праці людини, що складається з трьох компонентів: оцінювання ризику, управління ризиком та поширення інформації про ризик.

Оцінювання людської діяльності здійснюється за наступною схемою: визначення кількості часу, який працівник проводить у забрудненій зоні на

відкритій місцевості з урахуванням характеру діяльності людини протягом доби; визначення залежності людської діяльності від сезону року; визначення можливості тимчасового або постійного перебування людини в забрудненій зоні. Обов'язковому врахуванню підлягають усі джерела, які потенційно впливають на працівника, що знаходиться в досліджуваній зоні. В тому випадку, коли проводяться дослідження, спрямовані на оцінювання ризику для здоров'я людини, який обумовлений будь-яким конкретним об'єктом, наприклад, промисловим підприємством, найбільш важливим джерелом інформації є відомості про якісний і кількісний склад викидів цього об'єкта, їх просторові і часові характеристики. Крім стаціонарних джерел викидів враховується і вплив автотранспорту.

Для опису ризику виникнення хронічних захворювань, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря, використовується лінійно-експоненціальна модель:

$$R_3 = 1 - \exp \left[ -0,174 \cdot \left( \frac{C}{ГДК_{с.д.} \cdot K_3} \right)^\beta \cdot t \right], \quad (15)$$

де  $R_3$  – ризик;

$C$  – концентрація речовини, що здійснює вплив протягом часу  $t$ ;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує особливості токсичних властивостей речовин;

$ГДК_{с.д.}$  – гранично допустима середньодобова концентрація хімічної речовини в повітрі робочих зон, мг/м<sup>3</sup>.

Вказаний підхід застосовується при рівні забруднення робочої зони до 10–15  $ГДК_{с.д.}$ .

Комбінований ризик визначається як сума розрахованих величин ризику за кожною з прийнятих у розрахунках речовин або за співвідношенням:

$$Risk = 1 - (1 - Risk_1) \cdot (1 - Risk_2) \cdot (1 - Risk_3) \cdot (1 - Risk_n), \quad (16)$$

де  $Risk_1, \dots, Risk_n$  – ризик дії кожної окремої домішки.

Розроблений чисельний метод розрахунку концентрації забруднюючих речовин у повітряному середовищі з урахуванням хімічної трансформації було застосовано при комплексному врахуванні впливу різних видів домішок та різного типу джерел емісії на показник забруднення.

По-перше, проаналізовано ряд робочих місць на території промислових майданчиків Дніпровського металургійного заводу «ЄВРАЗ». Для аналізу обрано робочу зону території доменного цеху та робочу зону території прокатного цеху № 1. Джерела емісії приймалися постійно діючими. При заданій інтенсивності викидів та метеорологічних параметрах отримано розподіл концентрації, як для діоксиду сірки, так і для інших сполук, що потрапляють у повітряне середовище від цього підприємства. Відомі значення концентрації дозволили обчислити показник фактичного забруднення ( $ПЗ$ ) атмосферного повітря однією речовиною (17) та сумарний показник забруднення ( $ПЗ_\Sigma$ ) сумішшю речовин (18).



$$ПЗ = \frac{C}{ГДК_{м.р.}} \cdot 100\% , \quad (17)$$

де  $ПЗ$  – показник забруднення, %;

$C$  – фактична або прогнозна концентрація конкретної речовини, мг/м<sup>3</sup>;

$ГДК_{м.р.}$  – значення гранично допустимої концентрації цієї речовини, мг/м<sup>3</sup>.

$$ПЗ_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{nn} \frac{C_i}{ГДК_i \cdot K_i} \cdot 100\% , \quad (18)$$

де  $ПЗ_{\Sigma}$  – сумарний показник забруднення, %;

$C_i$  – значення фактичних або прогнозних концентрацій речовин, що входять до складу суміші, мг/м<sup>3</sup>;

$ГДК_i$  – значення гранично допустимих концентрацій (максимально разових) відповідних забруднюючих речовин, що входять до складу суміші, мг/м<sup>3</sup>;

$nn$  – кількість елементів суміші;

$K_i$  – значення коефіцієнтів, які враховують клас небезпечності відповідної речовини.

Для промислового майданчика доменного цеху максимальна концентрація діоксиду сірки  $C_{\max}=0,3426$  мг/м<sup>3</sup>, показник забруднення  $ПЗ_{SO_2} = 68,52\%$ ,  $ПЗ_{\Sigma} = 640\%$ . Для промислового майданчика прокатного цеху № 1 максимальна концентрація діоксиду сірки  $C_{\max}=0,4033$  мг/м<sup>3</sup>, показник забруднення  $ПЗ_{SO_2} = 80,66\%$ ,  $ПЗ_{\Sigma} = 720\%$ , оскільки територія цього майданчика перебуває під впливом більшої кількості джерел забруднення при обраному північно-західному напрямку вітру.

Значення показника забруднення для всього підприємства обчислювалось згідно з отриманою матрицею концентрації, як середньоквадратичне  $ПЗ_{\Sigma_{сер.}} = 680\%$ . Оскільки  $ПЗ_{\Sigma_{сер.}} > 100\%$ , має місце підвищення ризику виникнення хронічних захворювань робітників промислових майданчиків цього підприємства.

На рис. 1 представлено зміну ризику хронічних захворювань для працівників Дніпровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ у робочих зонах вказаних промислових майданчиків.

Аналіз показав, що через один рік ризик хронічних захворювань робітників в робочій зоні на відкритому майданчику доменного цеху буде складати 11 %, а через 10 років – 49 %, тоді як для робітників в робочій зоні на відкритому майданчику прокатного цеху ризик захворювання через рік буде складати 14 %, а через 10 років – 65 %.

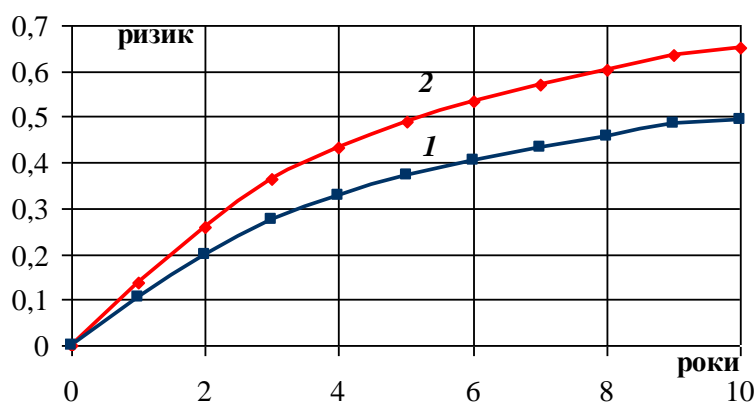


Рисунок 1 – Зміна ризику хронічної інтоксикації діоксидом сірки на території промислових майданчиків Дніпровського металургійного заводу ДМЗ ЄВРАЗ: 1 – доменний цех; 2 – прокатний цех № 1

На наступному етапі дослідження виконувалися розрахунки рівня забруднення атмосферного повітря на прилеглої території ДМЗ ЄВРАЗ (рис. 2).

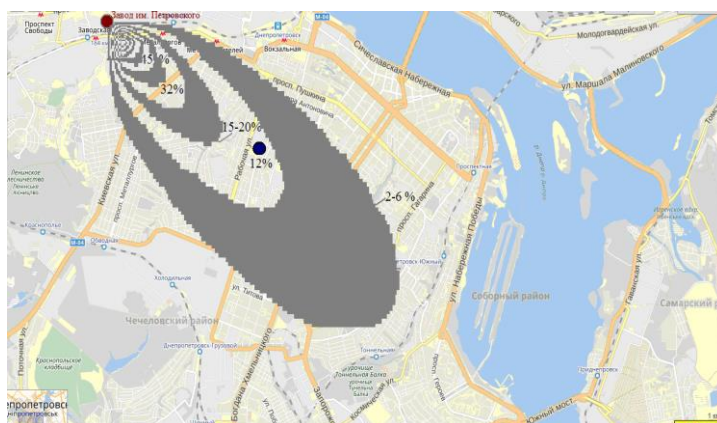


Рисунок 2 – Зона забруднення діоксидом сірки прилеглої території при направленні вітру  $\alpha=120^\circ$ , одне джерело забруднення (ДМЗ ЄВРАЗ)

При розгляді такої самої метеорологічної ситуації  $C_{\max}=0,3426$  мг/м<sup>3</sup> в зону впливу потрапляють: пр. Свободи, пр. Мазепи, пр. Металургів, пр. Пушкіна, пр. Олександра Поля, пр. Гагаріна. Концентрація діоксиду сірки змінюється за такою залежністю: вул. Заводська – до 55 %, вул. Київська – до 45 %, вул. Орловська – до 32 %, вул. Робоча – до 20 %, вул. Титова – до 10 %.

По-друге, виконано оцінку рівня забруднення повітряного середовища на підприємстві коксохімічного заводу «Дніпрококс» та на прилеглої території. Наведено порівняльний аналіз викидів підприємства та проаналізовано низку робочих місць на території промислових майданчиків. Для аналізу обрано відкриті майданчики автотранспортного і ремонтного цехів, де виконуються електроремонтні, механічні, ремонтно-будівельні та монтажні роботи. Отримано розподіл концентрації діоксиду сірки на території майданчика ремонтного цеху для двох ситуацій: у випадку, коли враховуються викиди одного коксохімічного заводу «Дніпрококс», та у випадку, коли враховуються викиди двох заводів: «Дніпрококс» та заводу ім. Петровського. Максимальна концентрація  $C_{\max}=0,3187$  мг/м<sup>3</sup>, показник забруднення  $PZ_{SO_2} = 63,74$  % з

урахуванням викиду тільки одного коксохімічного заводу;  $C_{\max}=0,4143$  мг/м<sup>3</sup>, показник забруднення  $PZ_{SO_2} = 82,86$  % з урахуванням викидів діоксиду сірки двома підприємствами «Дніпрококс» та заводом ім. Петровського. Аналогічні розрахунки проведено для промислового майданчика автотранспортного цеху заводу «Дніпрококс». Значення показника забруднення для усього підприємства  $PZ_{\Sigma_{сер.}} = 490$  %. Ці розрахунки показують можливості розробленого методу. Цей метод дозволяє враховувати інтенсивність викиду декількох підприємств, тобто проводити більш якісне та точне оцінювання рівня забруднення на території майданчиків промислових підприємств. Більш достовірні значення концентрації дозволили оцінити ризик виникнення хронічних захворювань у робітників (рис. 3).

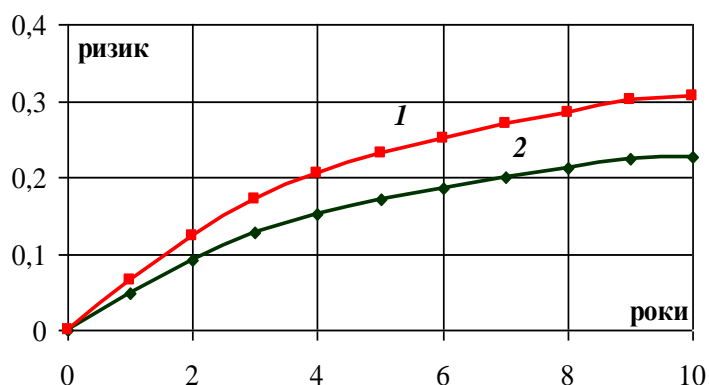


Рисунок 3 – Зміна ризику хронічної інтоксикації діоксидом сірки на території промислового майданчика ремонтного цеху коксохімічного заводу «Дніпрококс»: 1 – з урахуванням викидів двох підприємств; 2 – з урахуванням викидів лише заводу «Дніпрококс»

Для робітників промислового майданчика ремонтного цеху (рис. 3) через один рік ризик хронічних захворювань складає 4,7 %, а через 10 років – 23 % у випадку, коли враховуються викиди лише самого коксохімічного заводу. У випадку, коли враховуються викиди двох підприємств, а саме заводу ім. Петровського і коксохімічного заводу «Дніпрококс», ризик хронічних захворювань через один рік складає 6,5 %, а через 10 років – 31 %, тобто спостерігається збільшення ризику хронічних захворювань у працівників промислового майданчика ремонтного цеху в середньому на 35 %.

По-третє, було вивчено динаміку забруднення повітряного середовища на прилеглий до Придніпровської ТЕС території (рис. 4). При заданій інтенсивності викиду діоксиду сірки та осередненні по висоті перенесення 600 м,  $C_{\max}=0,582$  мг/м<sup>3</sup>. В зону впливу потрапляють: Соборний район, пр. Героїв, пр. Гагаріна, пр. Олександра Поля, пр. Пушкіна.

Концентрація діоксиду сірки змінюється за такою залежністю: район південного моста – до 54 %, Січеславська набережна – до 30 %, пр. Гагаріна – до 15 %, пр. Олександра Поля – до 10 %, вул. Володимира Антоновича менше – 6 %. У реперній точці – пр. Героїв, концентрація  $SO_2$  становить 22 %, а саме  $C=0,1281$  мг/м<sup>3</sup>, що менше максимально разової концентрації, але більше середньодобової в 2 рази.

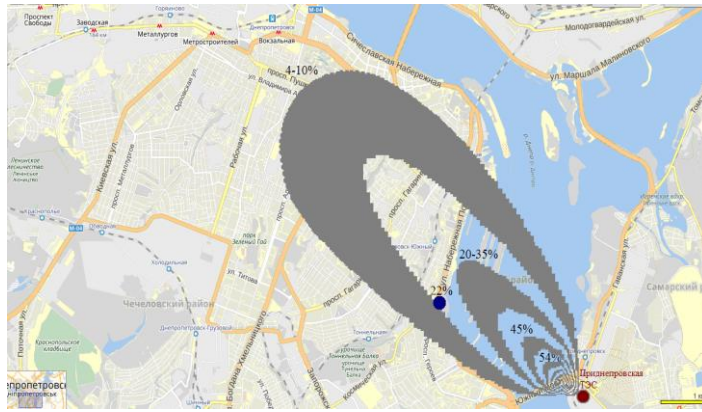
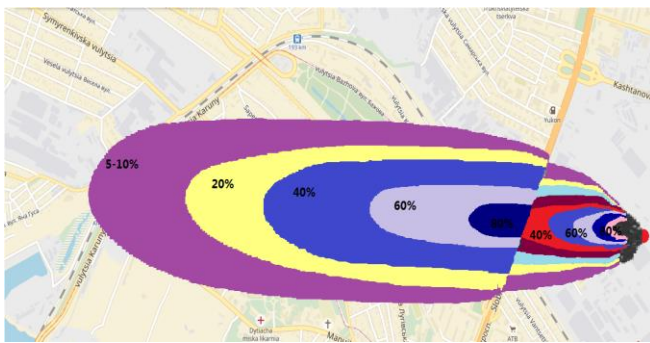
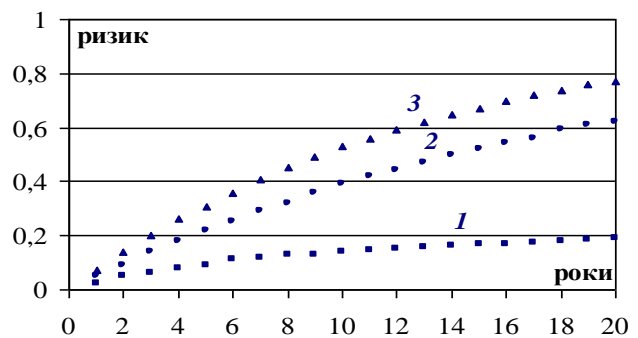


Рисунок 4 – Зона забруднення діоксидом сірки території, прилеглої до Придніпровської ТЕС

По-четверте, було досліджено динаміку забруднення повітряного середовища на прилеглій території «Інтерпайп Нижньодніпровського трубопрокатного заводу» з урахуванням викидів автотранспорту. На рис. 5а представлено зону забруднення діоксидом азоту з урахуванням взаємовпливу промислового підприємства і автомагістралі.



*a*



*б*

Рисунок 5 – Прилегла територія заводу «Інтерпайп»: *a* – зона забруднення діоксидом азоту з урахуванням двох джерел забруднення промислового підприємства і автомагістралі; *б* – зміна ризику виникнення хронічних захворювань при інтоксикації діоксидом азоту: *1* – з урахуванням викидів автомагістралі; *2* – з урахуванням викидів підприємства; *3* – з урахуванням викидів автомагістралі і підприємства

Починаючи від першого джерела (заводу), шлейф забруднення витягується вздовж напрямку руху повітряних мас, процентний вміст домішки поступово зменшується, але дійшовши до автомагістралі, концентрація  $NO_2$  знову починає зростати, оскільки шлейф забруднення від другого джерела накладається на той, який вже присутній в атмосферному повітрі, концентрація домішки і зона забруднення збільшуються. Концентрація діоксиду азоту змінюється за такою залежністю: територія заводу – 90 %, вул. Столетова – 80 %, вул. Бажова і вул. Військова – 80-90 %, вул. Смарагдова і вул. Саперна – 70 %, вул. Каразіна та вул. Луговська – 60 %, вул. Ростовська і вул. Трамвайна – 50 %, вул. Проскурівська та вул. Лесі Українки – 40 %, вул. Світла і вул. Радистів –

30 %, вул. Ясельна і Мануйлівська проспект – 20 %, вул. Каруни – 10 %, вул. Амур-Гаванська – 5 %.

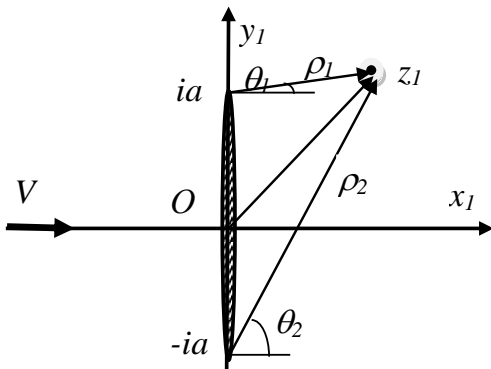
Значення концентрації представлені у відсотках від величини максимальної концентрації:  $C_{\max}=0,0928$  мг/м<sup>3</sup> – враховуються викиди  $NO_x$  тільки від промислового підприємства,  $C_{\max}=0,0359$  мг/м<sup>3</sup> – враховуються викиди  $NO_x$  тільки від автомагістралі,  $C_{\max}=0,1279$  мг/м<sup>3</sup> – враховуються викиди від двох джерел забруднення.

Знайдене поле концентрації домішки дозволило оцінити зміну ризику хронічної інтоксикації, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря діоксидом азоту, протягом 20 років (рис. 5б). Розрахунок ризику виникнення хронічних захворювань виконувався для населення території, що потрапляє під вплив викидів промислового об'єкту «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» і автомагістралі Слобожанський проспект. При розрахунку використовувалася обчислена матриця концентрації діоксиду азоту. Розрахунок ризику виконувався на відкритій місцевості в точках, розташованих на відстані близько 10 м від автомагістралі. В першому випадку ризик захворювання через один рік становить 2 %, а через 20 років – 20 %; в другому випадку ризик захворювання через один рік становить 5 %, а через 20 років – 62 %; в третьому випадку ризик хронічних захворювань через один рік становить 7 %, а через 20 років – 77 %. Використання цього методу розрахунку дозволяє виконати комплексне оцінювання ризику виникнення хронічних захворювань у населення прилеглої території з урахуванням викидів автомагістралі і підприємства, що призводить до отримання більш об'єктивних результатів розрахунку. Розроблений метод комплексного оцінювання ризику виникнення хронічних захворювань у робітників було використано як для локальних розрахунків (у конкретних точках), так і для території промислового об'єкту «Інтерпайп» площею 540 м×500 м. Було вирішено задачу по оцінюванню ризику при наявності викидів, що потрапляють в атмосферне повітря від цехів, тобто викиди на низькій висоті. Для цього використовувалася матриця концентрації для  $z=1,7$  м, розрахована для виділеної території цього об'єкту.

У **третьому розділі** розроблено методи мінімізації рівня хімічного забруднення в робочих зонах на відкритій місцевості за допомогою екранів та рослинності. Одним із ефективних засобів є застосування екранів. Екрани дозволяють змінити траєкторію руху частинок забруднення та знизити локально хімічне забруднення в робочій зоні.

Для оцінювання рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах, які розташовані на відкритій місцевості, необхідно вирішити дві задачі: визначити нерівномірне поле швидкості повітряного потоку в робочих зонах; визначити поле концентрації хімічної речовини, яке формується під впливом швидкості повітряного потоку та атмосферної дифузії.

Особливістю цього методу є те, що нерівномірне поле швидкості повітряного потоку при наявності екрана визначається на основі точного аналітичного рішення аеродинамічної задачі (рис. 6). Для цього використовувалася математичний апарат теорії функцій комплексної змінної для потенційної течії, що описується рівнянням Лапласа.



Компоненти вектору швидкості повітряного потоку визначаються наступними виразами:

$$\begin{cases} V_x = \frac{V}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left( x_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + y_1 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right); \\ V_y = \frac{V}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left( y_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - x_1 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right). \end{cases} \quad (19)$$

Рисунок 6 – Схема обтікання екрана для визначення параметрів потоку біля екрана

Модулі радіусів-векторів та кутів, що визначають положення точки на площині, визначаються співвідношеннями (20) – (23):

$$z_1 - ia = x_1 + iy_1 - ia = x_1 + i(y_1 - a), \quad (20)$$

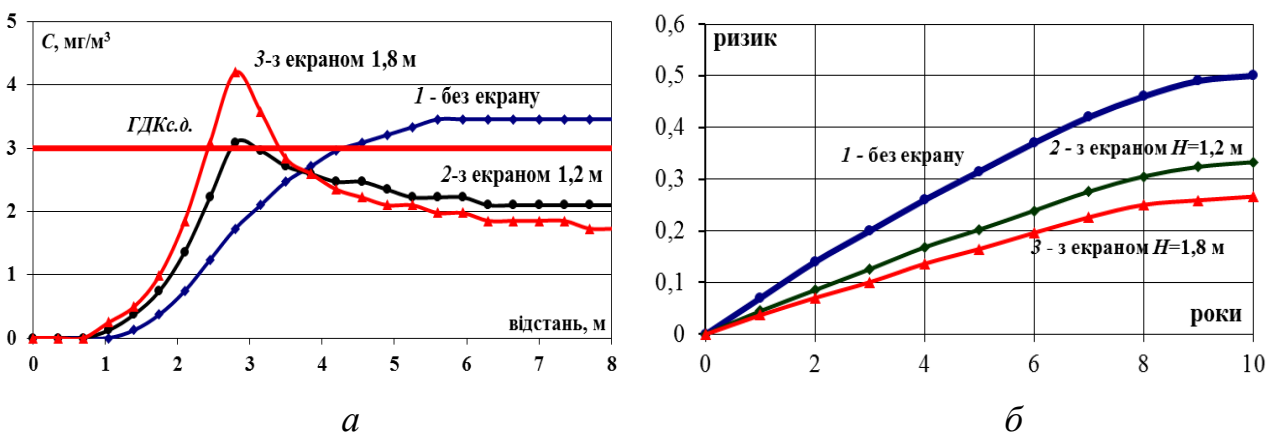
$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + (y_1 - a)^2}, \quad \rho_2 = \sqrt{x_1^2 + (y_1 + a)^2}, \quad (21)$$

$$z_1 + ia = x_1 + iy_1 + ia = x_1 + i(y_1 + a), \quad (22)$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{y_1 - a}{x_1}, \quad \theta_2 = \arctg \frac{y_1 + a}{x_1}. \quad (23)$$

Отримані залежності (19) – (23) є базовими для розрахунку поля швидкості повітряного потоку в робочій зоні при наявності екрана, при чому при практичному використанні отриманих аналітичних залежностей  $a=H/2$ . Знайдені компоненти швидкості повітряного потоку  $u, v$  використовувалися для моделювання розсіювання хімічного забруднення в робочих зонах, для чого застосовувався двовимірний аналог рівняння масопереносу (1).

Реальним об'єктом, для якого було проведено розрахунки за цим методом, виступав Дніпровський олійноекстракційний завод. Розглядалися три сценарії: при відсутності екрана; при наявності екрана висотою  $H=1,2$  м та висотою  $1,8$  м (рис. 7). Розраховано зони забруднення, які утворювалися для кожного сценарію. Наявність екрана викликає розворот зони забруднення, що призводить до її зменшення і зниження концентрації  $CO$  в робочій зоні.



1 – без екрана; 2 – з екраном  $H=1,2$  м; 3 – з екраном  $H=1,8$  м

Рисунок 7 – Врахування наявності екрана:  $a$  – розподіл концентрації  $CO$  на висоті  $2$  м;  $b$  – зміна ризику виникнення хронічних захворювань при інтоксикації оксидом вуглецю

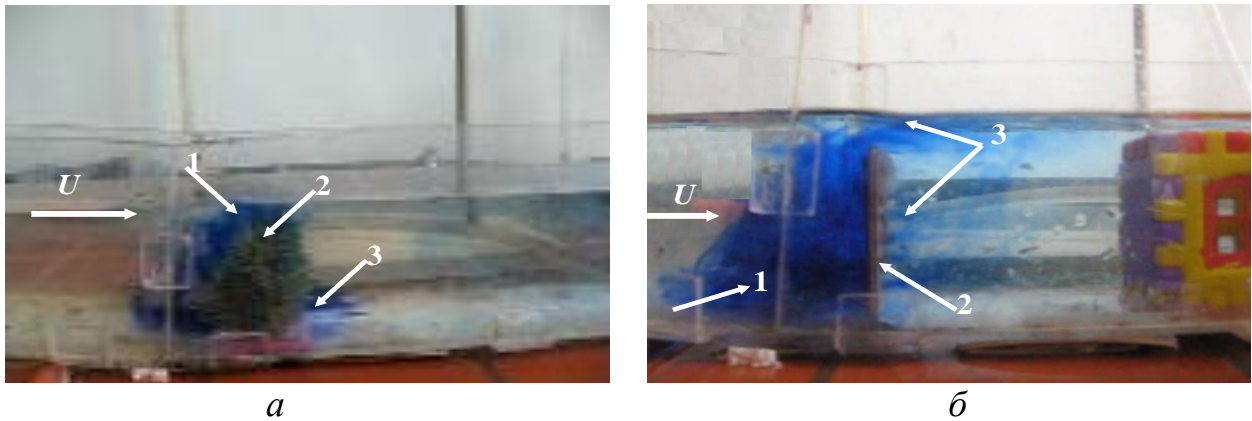


На рисунку 7а показано розподіл концентрації  $CO$  на різній відстані від джерела емісії на висоті від поверхні землі  $H=2$  м. В місці встановлення екрана значення концентрації зростає, тому що потік гальмується, але поза ним значення концентрації повільно зменшується і, в порівнянні з випадком відсутності екрана, концентрація знижується на 11 % при висоті екрана 1,2 м і на 15 % при висоті екрана 1,8 м, збільшення висоти екрана призводить до зменшення рівня концентрації забруднення. Таким чином, використання екрана призводить до зменшення рівня забруднення повітряного середовища в робочих зонах, що дозволяє зменшити ризик виникнення хронічних захворювань у робітників.

Показана зміна ризику хронічної інтоксикації  $CO$  впродовж 10 років на відстані 25 м від джерела забруднення і на висоті від поверхні землі  $H=1,7$  м (органи дихання людини) (рис. 7б). Через п'ять років ризик виникнення хронічних захворювань при відсутності екрана становить 0,31, при наявності екрана висотою 1,2 м ця величина дорівнює 0,21, при висоті екрана 1,8 м – 0,15. Таким чином, наявність екрана знижує ризик хронічної інтоксикації  $CO$  на 10 %, збільшення висоти екрана до 1,8 м призводить до зменшення ризику на 16 %. Ризик хронічних захворювань змінюється від небезпечного до прийняттого.

Також розроблено метод зниження рівня загазованості в робочих зонах з використанням екоінжинірингу (рослинності). Розв'язання цього завдання проводилося в два етапи: на першому етапі лабораторним способом вивчалися закономірності формування зон забруднення при наявності рослинності; на другому етапі розроблялася математична модель для розрахунку локальних зон забруднення викидами автотранспорту при наявності рослинності.

Використовувався метод аналогій, лабораторним способом проводилося дослідження структури потоку в гідравлічному лотку, який знаходиться в лабораторії кафедри гідравліки і водовідведення Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Метою дослідження було вивчення процесу формування зон забруднення при емісії домішки біля моделі зеленої огорожі. Рослини першого ряду висотою 13 см розташовувалися на відстані 1,5 см один від одного, рослини другого ряду висотою 6 см розміщувалися між рослинами першого ряду. Вся огорожа закріплювалася на дні лотка, домішка (розчин натрій хлор) подавалася через голку, в розчин додавалася фарба для візуалізації зони забруднення, подача здійснювалася протягом 3 с. Цей процес імітував викид від автомобілів на дорозі. Число Рейнольдса потоку рідини становило  $Re=1596 > 500$ , що в разі відкритих русел відповідає турбулентному режиму течії. Стрілкою на рисунках показано напрямок руху потоку. Формування зони забруднення для моменту часу 6 с після подачі забруднювача представлено на рис. 8а. В початковий момент часу дерево створює перешкоду і відбувається гальмування зони забруднення, далі вона витягується вгору вздовж моделі, оскільки дерево – природна перепона, одночасно починається проникнення забруднювача в нижній частині рослинності, де опір середовища мінімальний – там знаходяться стовбури дерев.



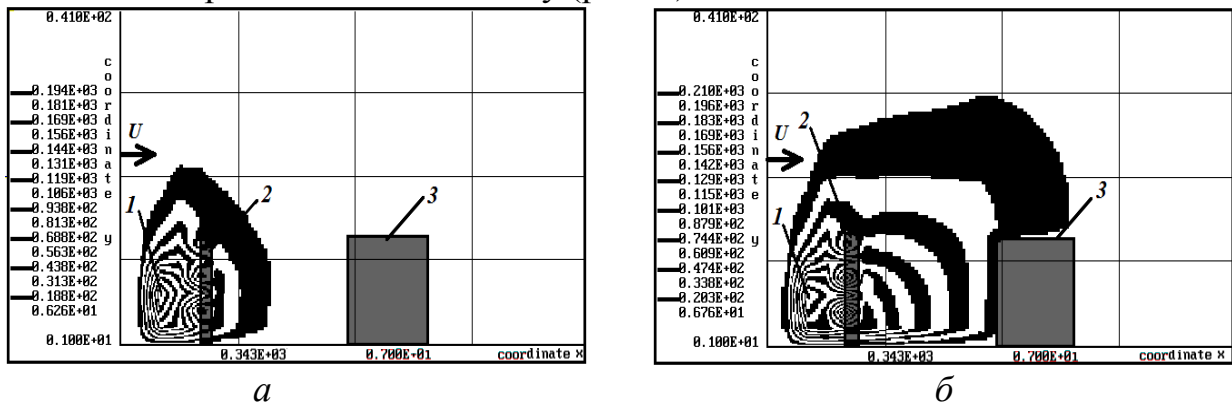
1,3 – зони забруднення; 2 – модель рослинності або пориста пластина

Рисунок 8 – Динаміка формування зон забруднення  $t=6$  с: *a* – при наявності рослинності; *б* – при наявності пористої пластини

Також у потік замість фарби надходив пиловий забруднювач і вивчався закон його осідання при наявності рослинності. Вивчалися закономірності формування зон забруднення, коли замість рослинності використовується її «еквівалент» – пластина. Однак на відміну від досліджень інших авторів, у цій роботі використовується не суцільна пластина. Показана динаміка формування зон забруднення в разі надходження фарби в потік при наявності пористої пластини з такими характеристиками: діаметр отворів  $d=3$  мм, відстань між отворами 5 мм (рис. 8б).

Порівнюючи рис. 8а і рис. 8б, видно подібність у розвитку зон забруднення. Результати лабораторних досліджень слугували передумовою для того, щоб при математичному моделюванні розрахунку зон забруднення біля насаджень використовувати «еквівалент» цих насаджень – пористу пластину.

Для розрахунку локального поля швидкості при наявності рослинності біля автомагістралі використовувалася модель потенційної течії (10) у двовимірній постановці, а для розсіювання газоподібних і пилових викидів поблизу автомагістралі при наявності рослинності (пористої пластини) – модель 2D рівняння масопереносу (1) та його різницевий аналог. Представлена динаміка формування зон забруднення для різних моментів часу, розрахована за допомогою запропонованого підходу (рис. 9).



1 – джерело емісії; 2 – рослинність; 3 – будівля на території

Рисунок 9 – Поле концентрації  $CO$  на промисловому майданчику при наявності рослинності (пористої пластини): *a* –  $t=8$  с; *б* –  $t=22$  с



Вирішувалася задача стосовно території зони відпочинку робітників Південного машинобудівного заводу. Для зниження рівня загазованості на території цього промислового підприємства пропонується висаджування кущів вздовж дороги. За допомогою розробленого методу проведено розрахунки на перспективу застосування цієї рослинності для зниження рівня загазованості. Виконано оцінювання рівня концентрації та ризику хронічних захворювань у зоні відпочинку робітників у двох наближеннях: без урахування сорбції рослинністю, коли рослинність використовується лише як механічна перешкода – пориста пластина; з урахуванням процесу сорбції рослинністю (рис. 10).

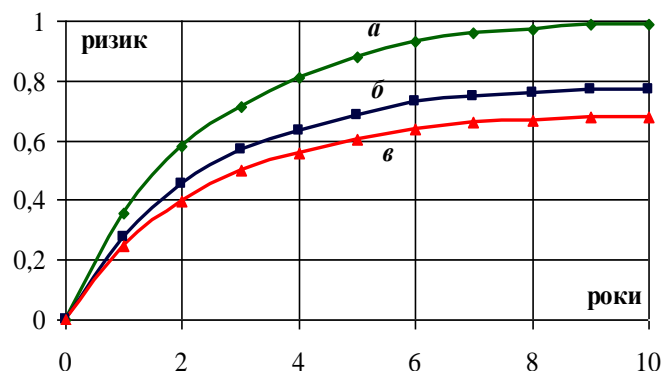


Рисунок 10 – Зміна ризику виникнення хронічних захворювань: *а* – без наявності рослинності, *б* – при наявності рослинності, *в* – при наявності рослинності і сорбції

При наявності рослинності рівень концентрації знижується в середньому на 7-14 %, а при врахуванні процесу сорбції – на 11-20 %. Відповідно до отриманої матриці розподілу концентрації, було обчислено ризик виникнення хронічних захворювань у робітників. У першому випадку ризик зменшується на 28 %, а в другому – на 32 %.

У **четвертому розділі** розроблено методи розрахунку та засоби мінімізації рівня хімічного забруднення в робочих зонах на промислових майданчиках за допомогою усмоктувачів, нейтралізації та зволоження. Запропоновано використання дворівневого відбору забруднюючих речовин вихлопних газів із регульованою відстанню між патрубками та різною швидкістю відбору на відповідних рівнях (рис. 11).

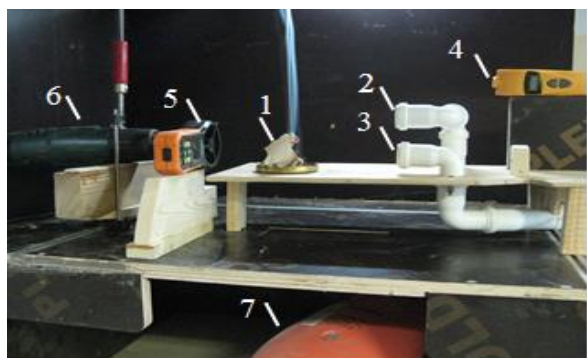
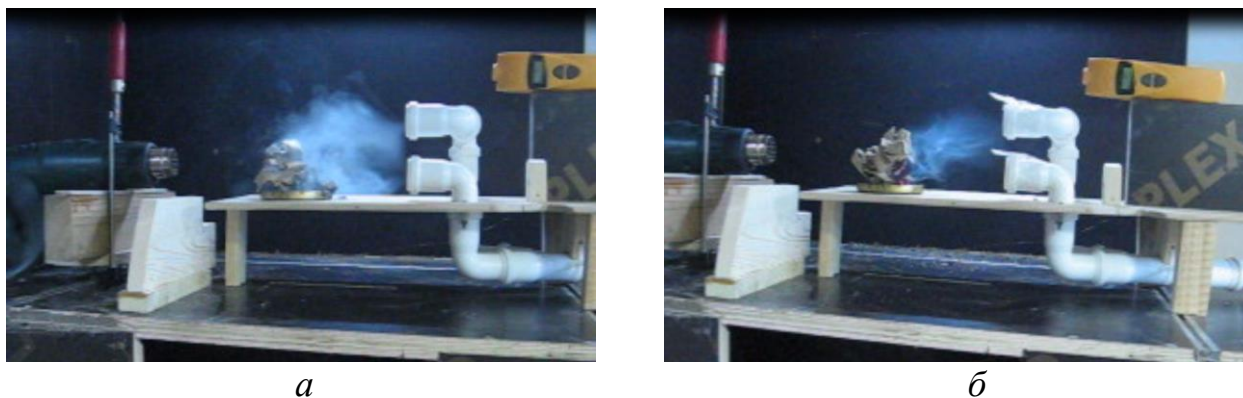


Рисунок 11 – Експериментальна установка відбору газів: 1 – джерело емісії; 2, 3 – отвори для відбору газів; 4 – пристрій для вимірювання концентрації CO; 5 – динамометр для вимірювання швидкості потоку; 6 – напірний вентилятор, 7 – витяжний вентилятор

Проведено фізичний експеримент із оцінювання ефективності зменшення зони забруднення (рис. 12).



а

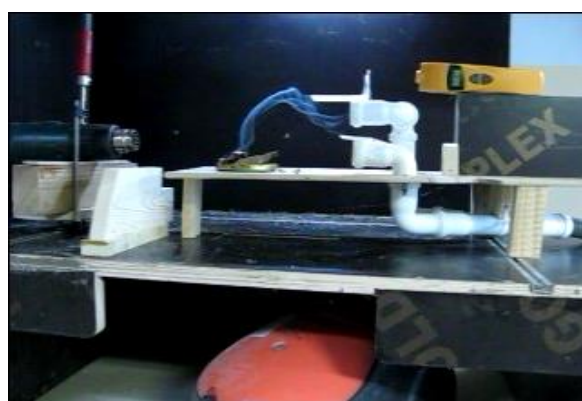
б

Рисунок 12 – Зона забруднення (розподіл  $CO$ ): *а* – без напрямних пластин; *б* – з напрямними пластинами однакової довжини

Вимірювання концентрації проводилося на рівні зросту людини (у масштабі 1:10)  $H=18$  см. Для покращення процесу всмоктування спочатку використувалися горизонтальні напрямні пластини однакової довжини (рис. 12б), надалі – горизонтальні пластини різної довжини, верхня з яких довша (рис. 13а), а також із одночасним застосуванням вертикальної пластини-екрана (рис. 13б).



а



б

Рисунок 13 – Зона забруднення (розподіл  $CO$ ): *а* – з напрямними пластинами різної довжини; *б* – з напрямними пластинами різної довжини та екраном

Форма потоку забруднення змінюється, оскільки екран є суттєвою перешкодою – він гальмує потік забруднення, а верхня довша пластина є напрямною потоку – спрямовує потік до верхнього отвору. Видно, що потік огинає верхню горизонтальну пластину, відхиляється від неї і відбирається верхнім отвором, за рахунок цього зона забруднення зменшується і концентрація значно знижується.

На наступному етапі дослідження розроблено методику чисельного розрахунку процесу відбору газів, що враховує кількість отворів відборів газу, їх розміри та взаємне розташування. Обчислено поле швидкості повітряного потоку на основі чисельного розв'язання рівняння Лапласа. Створено програмний пакет «Gases purifier», який дозволив провести ряд обчислювальних експериментів щодо дослідження розподілу концентрації  $CO$  (рис. 14–15) для різних сценаріїв. Ефективність застосування напрямних

пластин однакової довжини складає 22-28 % (рис. 14б), напрямних пластин різної довжини – 42-50 % (рис. 15а), напрямних пластин різної довжини та екрана – 56-69 % (рис. 15б) в порівнянні з варіантом відсутності пластин та екрана (рис. 14а).

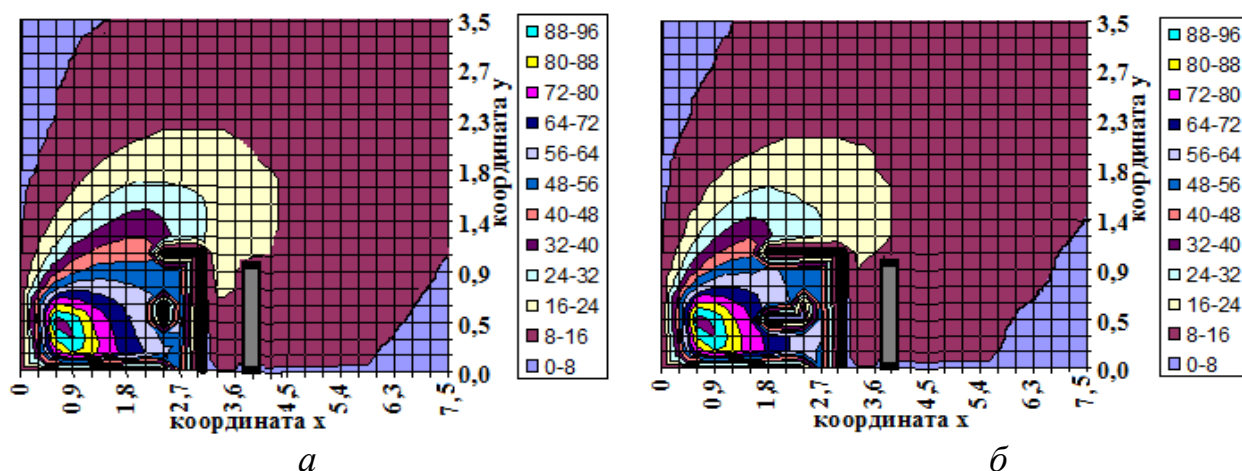


Рисунок 14 – Зона забруднення (розподіл концентрації  $CO$ ):  
 а – без напрямних пластин; б – з напрямними пластинами однакової довжини

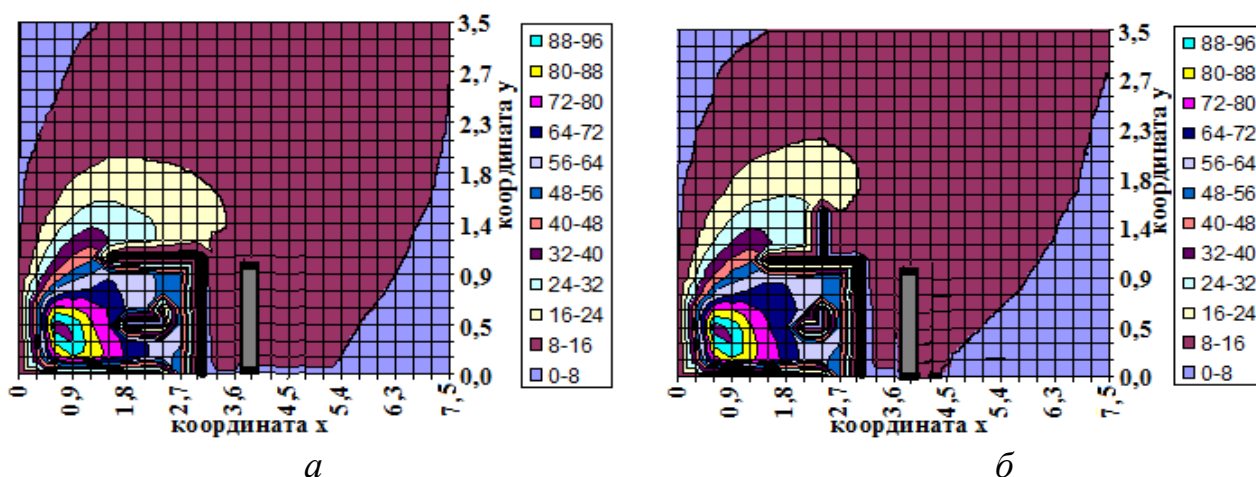


Рисунок 15 – Зона забруднення (розподіл концентрації  $CO$ ):  
 а – з напрямними пластинами різної довжини; б – з напрямними пластинами різної довжини та з екраном

Оцінювання ефективності застосування відсмоктувачів виконувалось на основі розрахунку ризику виникнення хронічних захворювань у робітників, що знаходяться на відстані  $l=1,6$  м від відсмоктувача (рис. 16).

Ризик розраховувався на висоті  $z=1,7$  м, що відповідає положенню органів дихання робітника. Результати розрахунку очікуваного ризику протягом 5 років представлено на рис. 16.

Як видно з рис. 16, застосування двох отворів для відбору забрудненого повітря та двох напрямних пластин дозволяє зменшити ризик виникнення хронічних захворювань у 1,8 разів порівняно з базовим. Встановлення додаткової вертикальної пластини (екрана) дозволяє зменшити ризик захворювання у 2,2 рази.

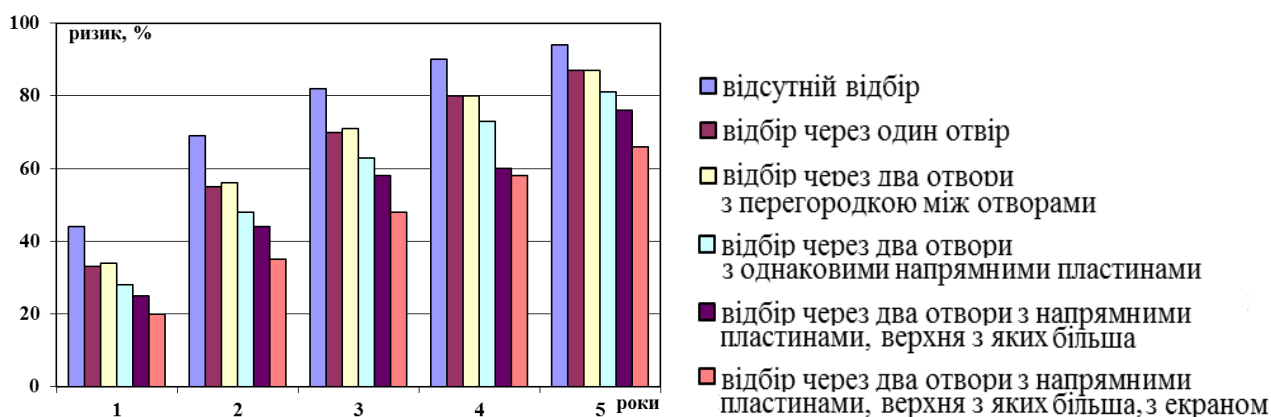


Рисунок 16 – Розподіл ризику хронічних захворювань протягом 5 років при різних випадках відбору забрудненого повітря

Досліджено процес зменшення концентрації оксиду вуглецю за рахунок його нейтралізації водяною парою при відборі вихлопних газів автотранспорту. Пропонується для нейтралізації оксиду вуглецю у вихлопних автомобільних газах використовувати подачу водяної пари до камери реакції, установка може працювати як у проточному режимі, так і в режимі типу «усереднювача». Математичне моделювання процесу здійснюється послідовно: по-перше, розраховується поле швидкості газового потоку всередині камери, що є основою розв'язку гідродинамічної задачі; по-друге, виконується розв'язання задачі масопереносу для оксиду вуглецю та водяної пари.

Розроблений метод чисельного розрахунку дозволив виявити, що в камері нейтралізації можуть утворюватися «застійні» зони. Запропоновано способи їх уникнення шляхом розміщення додаткової форсунки для подачі водяної пари знизу камери в місці утворення застійної зони. Створене програмне забезпечення дозволяє проводити оперативні обчислювальні експерименти для дослідження зміни концентрації оксиду вуглецю з урахуванням форми камери, розташування форсунок подачі водяної пари, потужності джерел та їх місця знаходження.

Також висвітлено метод прогнозування параметрів повітряного середовища в робочій зоні на відкритій місцевості при використанні зволоження.

На першому етапі проведено розв'язання рівнянь, що моделюють розсіювання води, водяної пари, зміну температури під дією вітру та атмосферної дифузії (24–26).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \mu \Delta C + \sum_{i=1}^n Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (24)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial uW}{\partial x} + \frac{\partial vW}{\partial y} = \mu \Delta W, \quad (25)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = a \Delta T, \quad (26)$$

де  $C$  – концентрація водяних крапель у повітрі;  
 $u, v$  – компоненти вектору швидкості вітру;



$\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коефіцієнт турбулентної дифузії;

$x_i, y_i$  – координати джерела потрапляння крапель води;

$\delta(x - x_0) \delta(y - y_0)$  – дельта-функція Дірака, за допомогою якої моделюється потрапляння крапель води в атмосферу;

$W$  – концентрація водяної пари у повітрі;

$T$  – температура повітря;  $a$  – коефіцієнт теплопровідності.

На другому етапі розрахунку виконувалося моделювання процесу випарювання крапель води. Для цього використовувалося рівняння (27), де  $C_n$  – концентрація насиченої пари в конкретному контрольному об'ємі при конкретній температурі повітря в цьому об'ємі:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\sigma \cdot (C - C_n), \quad (27)$$

де  $\sigma$  враховує швидкість випарювання води.

Процес випарювання призводить до зміни кількості тепла в контрольному об'ємі повітря, тому температура на новому часовому кроці  $n+1$  визначалася за формулою:

$$T^{n+1} = T^n - \frac{r \cdot dm}{m_{cell} \cdot c_{повітря}}. \quad (28)$$

Проведено лабораторні дослідження щодо моделювання робочої зони (у відкритому кафе), де елементи меблів представлені в масштабі 1:10 (рис. 17), критерій подібності – число Рейнольдса.

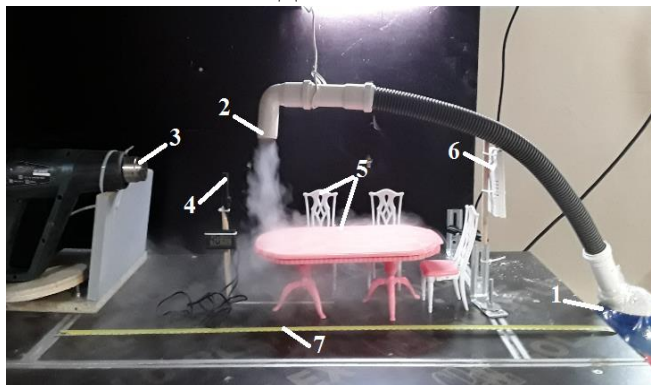


Рисунок 17 – Схема експериментальної установки  $V = 0$  м/с,  $Q = 0,083$  мл/с : 1 – зволожувач, 2 – патрубок подачі пари, 3 – напірний вентилятор, 4, 6 – прилади для вимірювання вологості, 5 – меблі та робоча зона, 7 – пристрій для вимірювання відстані

Подача дрібнодисперсної води здійснювалася вгору робочої зони, як це відбувається в кафе. Показано формування поля туману при різній потужності джерела емісії пару (рис. 18). Дрібнодисперсні краплі води зносяться повітряним потоком в робочій зоні.

На наступному етапі дослідження проводився обчислювальний експеримент на базі розробленого методу чисельного розрахунку. На території Південного машинобудівного заводу в літній період функціонує відкрите кафе для співробітників підприємства.



а



б

Рисунок 18 – Поле туману при різній потужності подачі пари  $Q$ :  
 а –  $Q = 0,083$  мл/с; б –  $Q = 1,167$  мл/с

Представлено схему розрахункової області на рис. 19, розподіл поля температури на рис. 20а і розподіл поля вологості на рис. 21б.

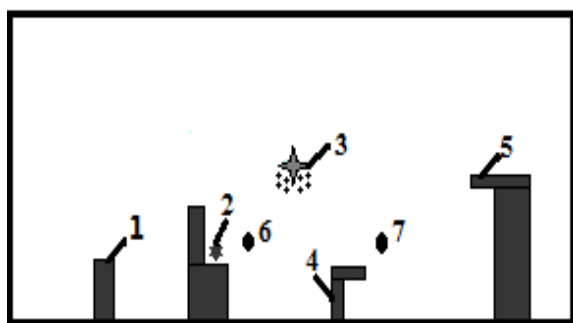
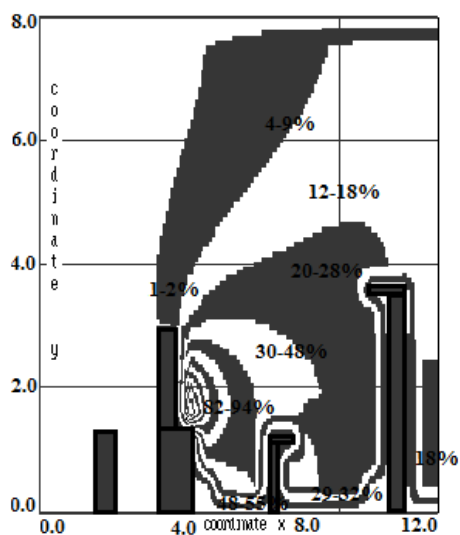
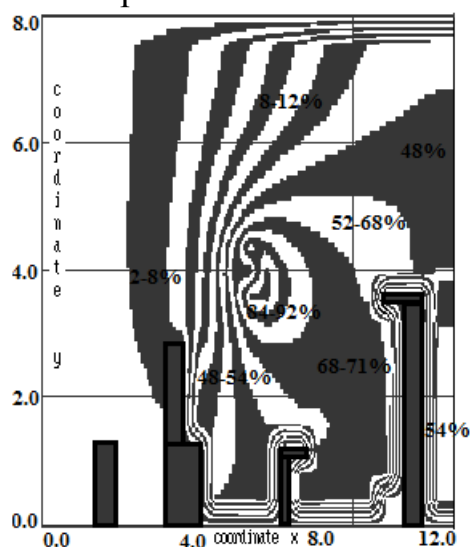


Рисунок 19 – Схема розрахункової області: 1 – бар'єр, 2 – джерело тепла (комплекс для приготування кави та гарячих блюд), 3 – джерело зволоження, 4 – робоче місце, 5 – відкрите кафе (навіс для відвідувачів), 6, 7 – точки спостереження



а



б

Рисунок 20 – Зона розподілу: а – поля температури; б – поля вологості

Наведено розподіл температури на території кафе між точками 6 та 7 (рис. 21а), відносно схеми (рис. 19), на відстані 8,3 м температура відповідає оптимальній температурі повітря в робочій зоні, але до цієї відстані працівники кафе знаходяться в зоні перевищення  $T_{opt}$ . Представлено розподіл відносної вологості повітря на території кафе між точками 6 та 7 (рис. 21б), на відстані 6,2 м–9,4 м відносна вологість відповідає оптимальному значенню вологості в

робочій зоні, але до цієї відстані працівники кафе знаходяться в зоні перевищення відносної вологості повітря.

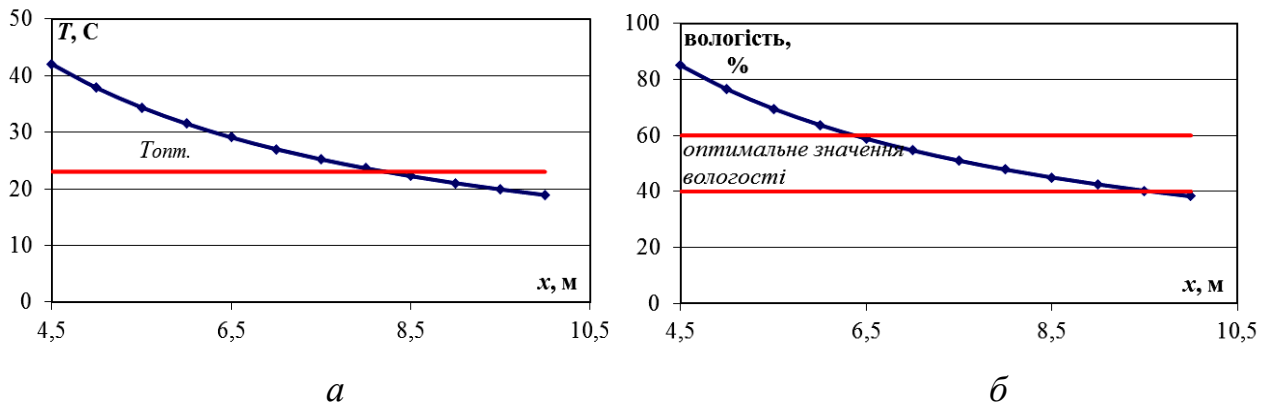


Рисунок 21 – Розподіл параметрів повітряного середовища: *а* – температури; *б* – вологості

В п'ятому розділі обґрунтовується та здійснюється розроблення методів прогнозування параметрів повітряного середовища при наявності електричних полів, які створюються позитивними та негативними аероіонами, а також присутністю інших джерел електричного поля. На формування концентраційного поля аероіонів впливає комплекс фізичних факторів: потік повітря, дифузія, вплив електричного поля та інші. Крім цього, відбувається взаємодія іонів різної полярності і взаємодія їх з частинками пилу. Для врахування цих процесів при моделюванні розсіювання аероіонів використовується 3D рівняння масопереносу, яке записується для кожної компоненти (позитивних аероіонів, пилу, негативних аероіонів.) Моделюючі рівняння мають вигляд:

– для опису процесу розсіювання позитивних іонів

$$\frac{\partial A_p}{\partial t} + \frac{\partial u A_p}{\partial x} + \frac{\partial v A_p}{\partial y} + \frac{\partial w A_p}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial A_p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial A_p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial A_p}{\partial z} \right) - \alpha A_p A_n - \beta A_p A_d + \sum_{p_i=1}^n Q_{p_i}(t) \delta(x - x_{p_i}) \delta(y - y_{p_i}) \delta(z - z_{p_i}); \quad (29)$$

– для моделювання переносу пилу

$$\frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial u A_d}{\partial x} + \frac{\partial v A_d}{\partial y} + \frac{\partial w A_d}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial A_d}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial A_d}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial A_d}{\partial z} \right) + \sum_{d_i=1}^n Q_{d_i}(t) \delta(x - x_{d_i}) \delta(y - y_{d_i}) \delta(z - z_{d_i}); \quad (30)$$

– для опису процесу розсіювання негативних іонів

$$\frac{\partial A_n}{\partial t} + \frac{\partial (u + bE) A_n}{\partial x} + \frac{\partial (v + bE) A_n}{\partial y} + \frac{\partial (w + bE) A_n}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial A_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial A_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial A_n}{\partial z} \right) - \alpha A_n A_p - \beta A_n A_d +$$

$$\sum_{n_i=1}^n Q_{n_i}(t) \delta(x - x_{n_i}) \delta(y - y_{n_i}) \delta(z - z_{n_i}). \quad (31)$$

Позначення фізичних параметрів в цих рівняннях такі:

$A_p, A_n, A_d$  – концентрація позитивних, негативних аероіонів і частинок пилу відповідно;

$u, v, w$  – компоненти вектору швидкості руху повітряного потоку;

$\mu = \mu_x, \mu_y, \mu_z$  – коефіцієнти дифузії;

$t$  – час;

$\alpha$  – швидкість рекомбінації іонів, що мають різну полярність;

$\beta$  – швидкість рекомбінації іонів з частинками пилу;

$Q_{A_{p_i}}(t)$  – інтенсивність емісії позитивних іонів у відповідних точках з координатами  $x_{n_i}, y_{n_i}, z_{n_i}$ ;

$\delta(x - x_{n_i})\delta(y - y_{n_i})\delta(z - z_{n_i})$  – дельта-функція Дірака;

$b$  – коефіцієнт мобільності іонів;

$E$  – напруженість електричного поля.

Простір, в якому відбувається рух аероіонів, обмежений. На границі входу повітряного потоку в розрахункову область ставиться початкова умова:  $A_p|_{\text{вх}} = A_{p_0}$ , де  $A_{p_0}$  – початкове значення концентрації аероіонів. На границі виходу повітряного потоку із розрахункової області ставиться «м'яка» гранична умова, яка в чисельній реалізації записується:  $A_p(i+1, j, k) = A_p(i, j, k)$ , де  $A_p(i+1, j, k)$ ,  $A_p(i, j, k)$  – значення іонів в останній та в передостанній різницевій комірниці. На поверхні Землі та на усіх твердих поверхнях ставиться гранична умова непротікання:  $\partial A_p / \partial n = 0$ . При використанні моделей (29–31) компоненти швидкості  $u(x, y, z)$ ,  $v(x, y, z)$ ,  $w(x, y, z)$  задовольняють рівнянню неперервності і визначаються через потенціал швидкості із рівняння Лапласа, чисельний розв'язок якого знаходиться методом сумарної апроксимації.

Наведено результати експериментальних вимірювань та розрахункові дані, що було отримано за допомогою розробленого методу. Аналіз дозволяє зробити висновок про адекватність розробленого методу.

В якості об'єкту дослідження було обрано Дніпровський масло-екстракційний завод, а саме територія, де розміщуються вантажні терези, куди заїжджають автомобілі з насінням. Ця територія є джерелом пилу, позитивних аероіонів, а працівники, які відповідають за розвантаження автомобілів, постійно перебувають під впливом цих негативних факторів. Наведено результати обчислювального експерименту з розрахунку поля концентрації позитивних, негативних аероіонів та пилу в робочій зоні у відсотковому співвідношенні на висоті 1,7 м (рис. 22).



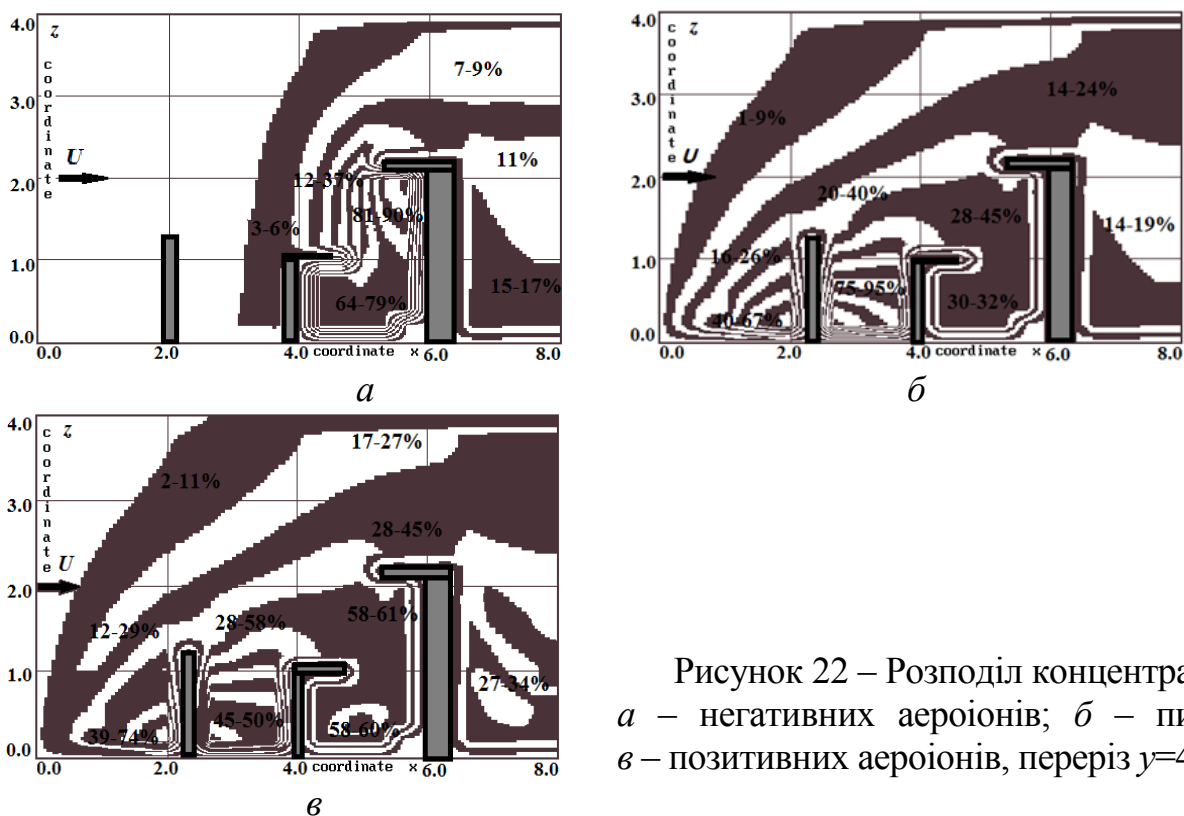


Рисунок 22 – Розподіл концентрації:  
 а – негативних аероіонів; б – пилу;  
 в – позитивних аероіонів, переріз  $y=4$  м

Також розроблено метод прогнозування напруженості електричного поля в робочих зонах. Розв'язано модельну задачу з оцінювання впливу висоти екрана на рівень електричного поля за екраном, де знаходяться робочі зони працівників Дніпропетровського олійноекстракційного заводу. На промислових майданчиках цього заводу постійно працюють електрокари – джерела електричного поля, в межах проїжджої частини майданчика знаходяться паркани та інші перешкоди (екрани), а також робочі зони працівників. Наявність екрана призводить до деформації ізоліній електричного поля. Застосування розробленого методу дозволило обчислити значення напруженості електричного поля в робочій зоні на різній відстані від екрана. Це значення не перевищує гранично допустимого значення, але видно, що використання високого екрана  $H=2$  м призводить до зниження напруженості електричного поля в робочій зоні на 8-10 % у порівнянні з низьким екраном  $H=1,2$  м і на 20 % – у порівнянні з відсутністю екрана.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій вирішена важлива науково-прикладна проблема розвитку наукових основ та практичної оцінки шкідливих факторів у робочих зонах на території промислових підприємств і зменшення їх впливу на рівень хронічних захворювань робітників, що має важливе значення для забезпечення допустимих умов праці на робочих місцях промислових майданчиків підприємств та при проектуванні робочих місць на відкритій місцевості промислових регіонів. За результатами роботи зроблено такі висновки:

1. Проведено комплексне дослідження складу шкідливих викидів промислових підприємств міста Дніпро. Виконано оцінювання сумарного

показника забруднення сумішшю речовин, які потрапляють в атмосферне повітря від кожного із розглянутих підприємств, та встановлено, що він перевищує в 4–7 разів допустиме значення, що призводить до зростання рівня хронічних захворювань у робітників, чії робочі зони розташовуються на відкритій місцевості цих підприємств.

Застосування методу оцінювання рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах на промислових майданчиках дозволяє: враховувати хімічну трансформацію забруднюючих речовин на базі тривимірного розрахунку полів концентрації домішки; проводити розрахунок окремо для постійно діючого точкового джерела забруднення і лінійно розподіленого джерела забруднення, так і з урахуванням їх взаємного впливу та хімічної трансформації шкідливих домішок в атмосферному повітрі. Це комплексне врахування призводить до більш точних розрахунків полів концентрації забруднювачів, а відповідно і отримання об'єктивного значення ризику виникнення хронічних захворювань.

2. З використанням уточненого методу оцінювання ризику хронічної інтоксикації працівників, робочі зони яких розміщуються на відкритій місцевості промислових майданчиків та на прилеглій території промислових районів, проведено оцінювання ризику хронічної інтоксикації робітників, пов'язаної із забрудненням атмосферного повітря конкретними видами домішок (діоксидом сірки, оксидами азоту тощо), та комбінованого ризику дії суміші речовин. Доведено, що з роками ризик хронічного впливу зростає і змінюється від прийнятного (5 %) до надзвичайно небезпечного (50–84 %).

3. Розроблено чисельно-аналітичний метод, який дозволяє проводити дослідження щодо ефективності застосування екранів на промислових майданчиках для зменшення рівня забруднення повітря в робочих зонах. Застосування екрана призводить до зменшення зони забруднення та зниження його рівня. Концентрація знижується на 11 % при висоті екрана 1,2 м і на 15 % при висоті екрана 1,8 м у порівнянні з випадком відсутності екрана. Доведено, що встановлення екранів в робочій зоні на відкритій місцевості промислових підприємств знижує ризик хронічної інтоксикації CO на 10 %, збільшення висоти екрана до 1,8 м призводить до зменшення ризику на 16 %. Ризик хронічних захворювань змінюється від небезпечного до прийнятного.

4. З використанням удосконаленого методу оцінювання рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах на промислових майданчиках при врахуванні впливу рослинності (екоінжинірингу) на формування зон забруднення встановлено, що присутність рослинності (пористої пластини) призводить до зниження концентрації забруднювача в робочій зоні приблизно на 7–14 %, а при врахуванні і процесу сорбції – на 11–20 %. У першому випадку ризик зменшується на 28 %, а в другому – на 32 %.

5. Вдосконалений метод оцінювання аероіонного режиму в робочих зонах на промислових майданчиках, що базується на тривимірному моделюванні розповсюдження аероіонів, дозволяє враховувати взаємодію аероіонів різної полярності та пилу, наявність перешкод в робочих зонах, нерівномірність поля швидкості повітряного потоку та турбулентну дифузію.

Цей метод використано для розв'язання задачі з оцінювання рівня забруднення в робочих зонах на відкритій місцевості промислового майданчика при наявності джерела емісії: позитивних аероіонів – викиди автотранспорту та дихання людей; пилю – рух робітників та автотранспорту; джерела негативних аероіонів – іонізатора, встановленого в робочій зоні, та екрана, що змінює аеродинаміку руху аероіонів та пилю. Виявлено закономірності зміни концентрації аероіонів та пилю на висоті 1,7 м, що відповідає розташуванню органів дихання робітників.

6. Застосований метод оцінювання напруженості електричного поля в робочих зонах дозволяє враховувати вплив перешкод різної геометричної форми на формування електричних полів.

Проведені дослідження встановили, що використання високого екрана  $H=2$  м призводить до зниження напруженості електричного поля в робочій зоні на 8–10 % в порівнянні з низьким екраном  $H=1,2$  м і на 20 % – в порівнянні з відсутністю екранів.

7. Запропонована технологія зниження хімічного забруднення в робочих зонах за рахунок використання дворівневих усмоктувачів та спеціальних напрямних пластин показує, що ефективність застосування пластин однакової довжини складає 22–28 %; різної довжини, коли верхня довша – 42–50 %; різної довжини, коли верхня довша і вертикального екрана – 56–69 %. Рівень ризику виникнення хронічних захворювань через один рік без відбору забруднення – 44 %, але найбільше цей показник зменшується при наявності відбору через два отвори з напрямними пластинами та вертикальним екраном – 20 %.

Розроблений інструментарій чисельного розрахунку концентрації забруднювача та ризику хронічних захворювань працівників із урахуванням наявності в робочій зоні дворівневих усмоктувачів дозволив провести обчислювальні розрахунки для різних сценаріїв розташування напрямних пластин.

8. З використанням уточненого методу розрахунку процесу нейтралізації чадного газу в спеціальній камері для зменшення рівня хімічного забруднення в робочих зонах розроблено програмний модуль, що дозволяє проводити обчислювальні експерименти для дослідження зміни концентрації оксиду вуглецю при його нейтралізації водяною парою з урахуванням форми камери, розташування форсунок подачі водяної пари, потужності джерел та їх місця знаходження.

9. Розроблений комплексний метод оцінювання параметрів повітряного середовища в робочих зонах на відкритій місцевості дозволяє розрахувати передбачуваний вітровий режим, вологість та температуру в робочих зонах відповідно до допустимих норм.

10. Проведено верифікацію розроблених методів оцінювання параметрів повітряного середовища та виконано їх впровадження для зниження впливу шкідливих чинників в робочих зонах підприємств: «ЛУГОВСЬКЕ», «РИН», «Енергосервіс-КР», АТ ДТЕК «Дніпровські електромережі». Програмні модулі впроваджено в навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**  
**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації**  
*Статті в наукових фахових виданнях України*

1. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Исследование техногенного влияния на окружающую среду газовых выбросов Приднепровской ТЭС. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Механіка*. 2016. Вип. 20, т. 24, № 5. С. 53–60. ISSN 2312–2897.
2. Беляев Н. Н., Русакова Т. И., Колесник В. Е., Павличенко А. В. Прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния городских автомагистралей. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2016. №1. С. 90–97. ISSN 2071-2227 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).
3. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Информационная система оценки уровня загрязнения воздушной среды выбросами горно-обогатительного комбината. *Геотехнічна механіка: Міжвідомчий збірник наукових праць*. 2017. Вип. 135. С. 149–159. ISSN 1607-4556.
4. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Исследование изменения концентрации кислых сточных вод в процессе их нейтрализации. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Механіка*. 2017. Вип. 21, т. 25, № 5. С. 104–113. ISSN 2312-2897.
5. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Исследование процесса нейтрализации кислотных сточных вод на базе численной модели. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2017. Вип. 99. С. 146–152. ISSN 2415-7031.
6. Беляев Н. Н., Русакова Т. И., Якубовська З. Н. Численное моделирование процессов массопереноса при нейтрализации сточных вод. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Т. 87, №1. С. 159–165. ISSN 2311-7257.
7. Біляев М. М., Русакова Т. І. Оцінка стану атмосферного повітря в промисловій зоні. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Т. 89, №3. С. 136–141. ISSN 2311-7257.
8. Biliaiev M. M., Rusakova T. I., Kolesnik V. Ye., Pavlichenko A. V. Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2017. №3. С. 100–106. ISSN 2071-2227 2227 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).
9. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Прогнозирование уровня загрязнения воздушной среды города от действующих техногенных источников. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. Вип. 53. С. 250–256. ISSN 2071-1859.
10. Біляев М. М., Русакова Т. І. Зниження рівня загазованості повітряного середовища. *Геотехнічна механіка: Міжвідомчий збірник наукових праць*. 2018. Вип. 139. С. 135–144. ISSN 1607-4556.
11. Біляев М. М., Русакова Т. І. Зменшення концентрації оксиду вуглецю у вихлопних газах автотранспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93, №3. С. 247–252. ISSN 2311-7257.

12. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Комп'ютерна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря під дією техногенних джерел. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. Вип. 54. С. 337–344. ISSN 2071-1859.

13. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Математичне моделювання процесу розсіювання викидів від постійно діючого стаціонарного джерела забруднення. *Математичне моделювання*. 2018. Т. 38, №1. С. 77–82. ISSN 2519-8106 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

14. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Прогноз локальних зон забруднення біля автомагістралі з урахуванням рослинності. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. Вип. 55. С. 333–341. ISSN 2071-1859.

15. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Розрахунок електричного поля на вулиці. *Математичне моделювання*. 2018. Т. 39, № 2. С. 37–45. ISSN 2519-8106, DOI:10.31319/2519-8106.2(39)2018.154205 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

16. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Способи зменшення рівня інтоксикації працівників в робочих зонах біля автомагістралі. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. Вип. 56. С. 231–240. ISSN 2071-1859.

17. Biliaiev M. M., Rusakova T. I. Prediction of microclimate near small architectural constructions. *Вісник Дніпровського університету. Серія: Механіка*. 2018. Вип. 22, т. 26, № 5. С. 42–50. ISSN 2312-2897.

18. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Комплексна оцінка впливу інгредієнтів викидів промислових підприємств на рівень забруднення повітря внутрішніх майданчиків. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2019. Вип. 57. С. 158–168. ISSN 2071-1859, DOI:10.33271/crpnmu/57.158.

19. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Прогнозування параметрів мікроклімату в робочих зонах методом обчислювального експерименту. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 95, № 1. С. 233–240. ISSN 2311-7257, DOI:10.29295/2311-7257-2019-95-1-233-240.

20. Biliaiev M. M., Rusakova T. I. Determining zones of chemical pollution in the cities and assesment of chronic diseases risks. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. Вип. 1 (79). С. 7–16. ISSN 2307-3489, DOI: 10.15802/STP2019/159508 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

21. Biliaiev M. M., Rusakova T. I., Shunkarenko V. I. Minimization of the chemical pollution level at the working zones in open areas using screens. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. Вип. 2 (80). С. 17–26. ISSN 2307-3489, DOI:10.15802/STP2019/164923 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

22. Rusakova T. I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. *Наука та прогрес транспорту. Вісник*

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2019. Вип. 3 (81). С. 16–26. ISSN 2307-3489, DOI:10.15802 /STP2019/170273 (Видання включено до міжнародної наукометричної бази *Index Copernicus*).

*Стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні:*

23. Biliaiev N. N., Rusakova T. I. The study of the protective function of vegetation near the motorway. *East European scientific journal. Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 2019. No. 1(41), part 1. P. 28–35.

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

24. Русакова Т. И. Влияние автотранспорта на качество воздушной среды в городах. *Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса*: матер. IV Междунар. научно-практ. конф., 27-29 ноября 2014 г. Новокузнецк : Филиал КузГТУ, 2014. С. 330–333.

25. Русакова Т. И. Оценка качества воздушной среды в микрорайонах города. *Природные опасности: связь науки и практики*: матер. II Междунар. научно-практ. конф., 23-25 апреля 2015 г. Саранск : изд-во Мордов. ун-та, 2015. С. 374–377.

26. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Численное и экспериментальное исследование загрязнения атмосферного воздуха на улицах при выбросах от автотранспорта. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: тезисы докл. 75 Междунар. научно-практ. конф., 14-15 мая 2015 г. Днепропетровск: ДНУЖТ, 2015. С. 336–337.

27. Русакова Т. И. Математичне моделювання розсіювання в атмосфері викидів підземної виробки. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості*: матер. II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, 6-9 жовтня 2015 р. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. С. 212–213.

28. Rusakova T., Biliaiev M. Mathematical modeling of air pollution on the streets of city. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*: Матер. I Всеукр. наук.-техн. конф., 3-5 листопада 2015 р. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2015. С. 17–20.

29. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Оценка уровня экологической безопасности атмосферного воздуха при чрезвычайных ситуациях. *Экология и защита окружающей среды*: Сб. тезисов докл. III Междунар. научно-практ. конф., 19 мая 2016 г. Минск: БГУ, 2016. С. 231–235.

30. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Численное моделирование процессов очистки воды. *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта*: тезисы докл. 76 Междунар. научно-практ. конф., 19-20 мая 2016 г. Днепропетровск: ДНУЖТ, 2016. С. 265–266.

31. Biliaiev M., Rusakova T. Mathematical modeling of diffusion emissions of thermal power. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*: матер. II Всеукр. науково-техні. конф. з міжнар. участю, 1-3 листопада 2016 р. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2016. С. 18–20.

32. Беляев Н. Н., Русакова Т. И., Гурина Е. В. Компьютерная модель процесса очистки воды и сушки осадка в псевдосжиженном слое. *Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в*

*промышленности и образовании*: тезисы докладов X Междунар. научно-практ. конф., 14-15 декабря 2016 г. Днепропетровск: ДНУЖТ, 2016. С. 91–92.

33. Rusakova T. Mathematical modeling of thin profile in a flow of an inviscid fluid. *Информационные технологии в металлургии и машиностроении*: матер. Междунар. научно-техн. конф., 28-30 марта 2017 г. Дніпропетровськ: НМА, 2017. С. 73.

34. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Моделирование нейтрализации сточных вод. *Неделя эколога – 2017*: докл. Междунар. научн. симп-ма, 10-13 апреля 2017 г. Каменское: ДГТУ, 2017. С. 47–48.

35. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Математичне моделювання процесів переносу забруднюючих речовин в промислових зонах міста. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*: матер. III Міжнар. науково-техн. конф., 1-3 листопада 2017 р. Дніпропетровськ: УДХТУ, 2017. С. 27–29.

36. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Прогнозирование экологического состояния атмосферного воздуха в зоне промышленных предприятий. *Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств*: тези допов. VI Міждунар. наук.-практ. конф., 29-30 листопада 2017 р. Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 19–20.

37. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Управление потоками транспортных систем для обеспечения экологически безопасного состояния воздушной среды. *Современные информационные и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании*: тезисы Междунар. научно-практ. конф., 13-14 декабря 2017 г. Днепр: ДНУЖТ, 2017. С. 90.

38. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Оцінка техногенного стану атмосферного повітря в містах. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2018*: тези допов. десятої Міжнар. наук.-практ. конф., 27-29 березня 2018 р. Дніпро: НМетАУ, 2018. С. 52.

39. Бреус I. В., Русакова Т. І. Дослідження техногенної ситуації за умови поширення забруднення поблизу поверхні землі. *Пожезна та техногенна безпека: наука і практика*: матер. Всеукр. наук.-практ. конф., 15-16 травня 2018 р. Черкаси: НУЦЗУ, 2018. С. 149–150.

40. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Метод прогнозирования экологически безопасного состояния атмосферного воздуха выбросами приземных источников загрязнения. *Экология и защита окружающей среды*: тезисы докладов IV Междунар. научно-практ. конф., 16-17 мая 2018 г. Минск: БГУ, 2018. С. 140–144.

41. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Чисельне дослідження рівня забруднення повітря міста та оцінка його територіальних масштабів. *Проблеми математичного моделювання*: матер. Всеукр. наук.-метод. конф., 23-25 травня 2018 р. Кам'янське: ДДТУ, 2018. С. 22–24.

42. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Математичне моделювання процесу нейтралізації оксиду вуглецю у вихлопних газах автотранспорту. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем*: матер. IV Міжнар. наук.-техн. конф., 1-2 листопада 2018 р. Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2018. С. 32–35.

43. Русакова Т. І. Дослідження стану мікроклімату в робочих зонах біля автомагістралей. *Сучасні проблеми енергоресурсозбереження в будівництві, містобудуванні та житлово-комунальному господарстві*: матер. Всеукр. наук.-практ. конф. 6-8 грудня 2018 р. Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. С. 193–195.

44. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Інформаційна система прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря і параметрів мікроклімату в робочих зонах. *Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті*: тези допов. XII Міжнар. наук.-практ. конф., 12-13 грудня 2018 р. Дніпро: ДНУЗТ, 2018. С. 87.

45. Берлов О. В., Калашніков І. В., Кіріченко П. С., Козачина В. А., Русакова Т. І. Прогнозування рівня забруднення атмосфери на базі чисельної моделі. *Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference «International Trends in Science and Technology»*, 30 April 2019, Warsaw, Poland, 2019. P. 41–44.

46. Русакова Т. И. Оценка показателя загрязнения промышленных площадок. *Экология и защита окружающей среды*: тезисы докл. Междунар. научно-практ. конф., 15 мая 2019 г. Минск: БГУ, 2019. С. 11–15.

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації***

47. Русакова Т. И. Исследование структуры ветрового потока на улицах города. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2014. Вип. 44. С. 146–152.

48. Русакова Т. И., Беляев Н.Н. Оценка ветрового режима при обтекании зданий. *Архітектурний вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2014. Вип. 4. С. 177–186.

49. Беляев Н. Н., Русакова Т. И. Математическое моделирование процесса вентиляции тупиковой подземной выработки. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2015. Вип. 47. С. 35–41.

50. Русакова Т. И. Исследование закономерностей обтекания зданий воздушным потоком. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2015. Вип. 49. С. 224–230.

51. Русакова Т. И., Беляев Н. Н. Численное исследование проветривания горной выработки. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Механіка*. 2015. Вип. 19, т. 23, № 5. С. 21–28.

52. Біляєв М. М., Русакова Т. І. Вплив автомагістралей на рівень забруднення атмосферного повітря в мікрорайонах міста. *Архітектурний вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2016. Вип. 8-9. С. 145–155.

## АНОТАЦІЯ

Русакова Т. І. Розвиток наукових основ та практичної оцінки шкідливих факторів в робочих зонах на території промислових підприємств. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – охорона праці. – Державний вищий навчальний заклад



«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2019.

В роботі вирішена важлива науково-прикладна проблема розробки теоретичних основ та практичних рекомендацій щодо оцінювання шкідливих факторів у робочих зонах промислових майданчиків, що має важливе значення для забезпечення допустимих умов праці робітників та при проектуванні нових робочих місць на відкритій місцевості промислових зон.

Розроблено методи оцінювання шкідливих факторів та прогнозування ризиків хронічних захворювань робітників у робочих зонах на відкритій території промислових підприємств. Усі методи реалізовані у вигляді комп'ютерних програм, що дозволяють оперативно проводити обчислювальні експерименти з розрахунку параметрів повітряного середовища в робочих зонах на території промислових підприємств. Розроблено методи як для оцінювання та прогнозування, так і для покращення параметрів повітряного середовища в робочих зонах на відкритій місцевості за рахунок раціонального вибору положення, розмірів екранів, усмоктувачів, рослинності, іонізаторів, зволожувачів.

Розрахунки за цими методами дозволяють провести дослідження щодо відповідності параметрів повітряного середовища їх нормативним значенням у робочих зонах на відкритій місцевості промислових підприємств при реінжинірингу існуючих і створенні нових робочих місць.

**Ключові слова:** робоча зона, промисловий майданчик, показник забруднення, повітряне середовище, дворівневий усмоктувач, пориста пластина, зволожувач повітря, напруженість електричного поля, аероіонний режим.

## АННОТАЦІЯ

Русакова Т.И. Развитие научных основ и практической оценки вредных факторов в рабочих зонах на территории промышленных предприятий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.26.01 – охрана труда. – Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2019.

В работе решена важная научно-прикладная проблема разработки теоретических основ и практических рекомендаций по оценке вредных факторов в рабочих зонах промышленных площадок, что имеет важное значение для обеспечения допустимых условий труда работников и при проектировании новых рабочих мест на открытой местности промышленных зон.

Проведен анализ состава вредных выбросов промышленных предприятий города Днепр. Выполнена оценка суммарного показателя загрязнения, он превышает в 4–7 раз допустимое значение, что приводит к росту уровня хронических заболеваний у рабочих, чьи рабочие зоны располагаются на открытой местности этих предприятий. На основе разработанного метода

проведена оценка риска возникновения хронических заболеваний, доказано, что с годами он возрастает и меняется от приемлемого (5 %) до чрезвычайно опасного (50–84 %).

Разработанный численно-аналитический метод позволяет проводить исследования по эффективности применения экранов на промышленных площадках для уменьшения уровня загрязнения воздуха в рабочих зонах. Применение экрана приводит к уменьшению зоны загрязнения и снижению его уровня. Установление экранов в рабочей зоне на открытой местности промышленных предприятий снижает риск хронической интоксикации *СО* на 10 %, увеличение высоты экрана до 1,8 м приводит к уменьшению риска на 16 %. Риск хронических заболеваний изменяется от опасного до приемлемого.

Использование усовершенствованного метода оценки уровня химического загрязнения воздуха в рабочих зонах на промышленных площадках при учете влияния растительности на формирование зон загрязнения позволило установить, что присутствие растительности приводит к уменьшению риска возникновения хронических заболеваний на 28 %, а при одновременном учете и процесса сорбции растительностью – на 32 %.

На основе применения усовершенствованного метода оценки аэроионного режима в рабочих зонах на промышленных площадках выявлены закономерности изменения концентрации аэроионов и пыли на высоте 1,7 м, что соответствует расположению органов дыхания рабочих.

Разработанный метод оценки напряженности электрического поля в рабочих зонах позволяет учитывать влияние препятствий различной геометрической формы на формирование электрических полей.

Предложенная технология снижения химического загрязнения в рабочих зонах за счет использования двухуровневых отсосов и специальных направляющих пластин показала, что больше всего уровень риска возникновения хронических заболеваний через год наиболее уменьшается при наличии отбора через два отверстия с направляющими пластинами и вертикальным экраном – 20 %.

Использование уточненного метода расчета процесса нейтрализации угарного газа в специальной камере для уменьшения уровня химического загрязнения в рабочих зонах позволило провести исследования изменения концентрации оксида углерода при его нейтрализации водяным паром с учетом формы камеры, расположение форсунок подачи водяного пара, мощности источников и их места нахождения.

Разработанный комплексный метод оценки параметров воздушной среды в рабочих зонах на открытой местности позволяет рассчитать предполагаемый ветровой режим, влажность и температуру в рабочих зонах в соответствии с допустимых норм.

Все методы реализованы в виде компьютерных программ, позволяющих оперативно проводить вычислительные эксперименты по расчету параметров воздушной среды в рабочих зонах на территории промышленных предприятий. Разработаны методы как для оценки и прогноза, так и для улучшения параметров воздушной среды в рабочих зонах на открытой местности за счет

рационального выбора положения, размеров экранов, отсосов, растительности, ионизаторов, увлажнителей.

Расчеты по данным методам позволяют провести исследования относительно соответствия параметров воздушной среды их нормативным значениям в рабочих зонах на открытой местности промышленных предприятий при реинжиниринге существующих и создании новых рабочих мест.

**Ключевые слова:** рабочая зона, промышленная площадка, показатель загрязнения, воздушная среда, двухуровневый отсос, пористая пластина, увлажнитель воздуха, напряженность электрического поля, аэроионный режим.

## SUMMARY

Rusakova T.I. The development of scientific principles and practical assessment of harmful factors in the working areas on the territory of industrial enterprises. – As a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.26.01 – labor protection. – State Higher Educational Establishment «Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture» of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2019.

The work addresses an important scientific and applied problem of developing theoretical tools and practical assessment of harmful factors in the working areas of industrial sites, which is important for ensuring acceptable working conditions for workers in industrial sites and in designing new jobs in open areas of industrial zones.

Developed methods for assessing the harmful factors and predicting the risks of chronic diseases of workers in the working areas in the open area of industrial enterprises. All methods are implemented in the form of computer programs that allow for rapid computational experiments to calculate the parameters of the air environment in the working areas on the territory of industrial enterprises. Methods have been developed for both estimating and forecasting, and for improving the parameters of the air environment in working areas in open areas due to the rational choice of position, screen sizes, suction, vegetation, ionizers, humidifiers.

Calculations using these methods allow to conduct research on the compliance of the parameters of the air environment with their standard values in the working areas in open areas of industrial enterprises when reengineering existing ones and creating new jobs.

**Key words:** working area, industrial site, pollution indicator, air environment, two-level suction, porous plate, air humidifier, electric field intensity, aero ion mode.