**Мунтян Лілія Яківна, викладач Миколаївського ко&shy;леджу транспортної інфраструктури Дніпропетровсько&shy;го національного університету залізничного транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна: &laquo;Удосконалення методів оцінки екологічної безпеки при емісії небезпеч&shy;них речовин на залізничному транспорті&raquo; (21.06.01 - екологічна безпека). Спецрада К 09.091.02 у Дніпров&shy;ському державному технічному університеті**

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

**МУНТЯН ЛІЛІЯ ЯКІВНА**

УДК 502.36:656.2

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

Л. Я. Мунтян

Науковий керівник: **Біляєв Микола Миколайович**

доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2018

**ЗМІСТ**

стор. ВСТУП 19

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ Й ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 25

* 1. [Особливості емісії забруднювальних речовин у атмосферу під час експлуатації рухомого складу залізничного транспорту 25](#_TOC_250028)
  2. Аналіз методів захисту атмосфери від забруднення в разі надзвичайних ситуацій під час транспортування хімічно небезпечних речовин 31
  3. [Сучасні методи оцінки рівня екологічної безпеки в разі емісії небезпечних речовин 33](#_TOC_250027)
  4. [Оцінка ризику в разі емісії хімічно небезпечних речовин під час експлуатації рухомого складу залізничного транспорту 37](#_TOC_250026)
  5. [Постановка завдань досліджень 41](#_TOC_250025)

[Висновки до розділу 1 41](#_TOC_250024)

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛІ ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

............................................................................................................................. 43

[2.1 Особливості класу задач, що розглядається 44](#_TOC_250023)

[2.2. Модель забруднення атмосферного повітря в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті 45](#_TOC_250022)

* 1. [Оцінка територіального ризику в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті 55](#_TOC_250021)
  2. [Оцінка розмірів забрудненої поверхні землі в разі емісії хімічно небезпечних речовин 61](#_TOC_250020)
  3. [Модель вітрового потоку в зоні аварійного розливу 63](#_TOC_250019)

[Висновки до розділу 2 65](#_TOC_250018)

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ З ОЦІНКИ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В РАЗІ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН 66

* 1. [Метод розв’язання 3-D рівняння переносу небезпечних речовин у атмосферному повітрі 67](#_TOC_250017)
  2. [Метод розв’язання 2-D рівняння переносу небезпечних речовин в атмосферному повітрі 70](#_TOC_250016)
  3. [Розв’язання задачі про хімічну трансформацію викидів у атмосфері 72](#_TOC_250015)
  4. [Розв’язання задачі з визначення поля швидкості вітрового потоку в зоні аварійного розливу 73](#_TOC_250014)
  5. [Опис розроблених кодів розв’язання задач з оцінки рівня екологічної безпеки в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті 76](#_TOC_250013)
  6. [Опис алгоритму розв’язання задач з оцінки рівня екологічної безпеки у разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті 81](#_TOC_250012)

[Висновки до розділу 3 83](#_TOC_250011)

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ПРОГНОЗ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РИЗИКУ В РАЗІ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ 85

* 1. [Оцінка рівня екологічної безпеки й територіального ризику під час роботи маневрового тепловоза на сортувальній станції 86](#_TOC_250010)
  2. [Оцінка рівня екологічної безпеки під час руху розгерметизованої цистерни 90](#_TOC_250009)
  3. Оцінка рівня екологічної безпеки в разі емісії небезпечної речовини з цистерни, що рухається, в умовах викиду за типом «залповий викид + витік» 95
  4. [Просторово-часова оцінка територіального ризику в разі аварій під час транспортування небезпечного вантажу 99](#_TOC_250008)
  5. [Захист атмосфери від забруднення шляхом застосування місцевого відсмоктувача біля зони аварійного розливу 107](#_TOC_250007)

[Висновки до розділу 4 116](#_TOC_250006)

[ВИСНОВКИ 118](#_TOC_250005)

[СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 120](#_TOC_250004)

[Додатки 134](#_TOC_250003)

[Додаток А. Тестування чисельних моделей 134](#_TOC_250002)

[Додаток Б. Документи щодо впровадження результатів дисертаційної роботи 141](#_TOC_250001)

[Додаток В. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації 143](#_TOC_250000)

**ВСТУП**

**Актуальність теми.** Проблема забезпечення екологічної безпеки (ЕБ) в Україні є однією з ключових, що підтверджено в законодавстві держави, зокрема в Законі «Про охорону навколишнього середовища». Крім цього, у Національній доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні в 2013 р. вказано, що основною метою розвитку транспортного сектора на період до 2020 р. є модернізація транспортної інфраструктури й рухомого складу для забезпечення екологічності та енергоефективності транспортних процесів та безпеки перевезень на тлі конкурентоспроможності.

Викиди вихлопних газів під час експлуатації низки засобів залізничного транспорту (магістральних і маневрових тепловозів) та у випадках надзвичайних ситуацій під час транспортування хімічно небезпечних вантажів є однією з головних причин перевищення допустимих концентрацій токсичних речовин і канцерогенів в атмосфері на примагістральній території.

Оцінка рівня екологічної безпеки на залізничному транспорті на сьогодні виконується за допомогою методик, які не враховують низки важливих для транспорту чинників, таких як нестаціонарність процесу емісії небезпечних речовин, хімічна трансформація викидів, рух джерела викиду складною траєкторією. Тому ці методики не дають можливості отримати науково обґрунтовані дані стосовно рівня забруднення навколишнього середовища при різних видах емісії шкідливих речовин на залізничному транспорті. У цьому зв’язку, створення ефективних методів оцінки рівня ЕБ під час роботи залізничного транспорту є актуальним науковим завданням.

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами**. Дисертаційна робота виконана відповідно до «Основних напрямків державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», визначених Постановою Верховної Ради України, галузевої Програми підвищення

безпеки руху на залізницях України, затвердженої наказом Укрзалізниці

№547-ц від 15.10.2001; у рамках наукових робіт Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна «Моделювання процесів забруднення навколишнього середовища при надзвичайних ситуаціях та організованих викидах забруднюючих речовин» (№ ДР 0115U007226), «Захист навколишнього середовища на об'єктах транспортної інфраструктури» (№ ДР 0115U007227); у рамках договору № 07/2014-У від 03.11.2014 про науково-технічну співпрацю між Дніпропетровським 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 підвищення рівня екологічної безпеки в умовах емісії хімічно небезпечних речовин на залізничному транспорті шляхом удосконалення методів оцінки територіального ризику.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *завдання*:

* + 1. Виконати аналіз сучасних методів захисту та оцінки рівня екологічної безпеки при емісії хімічно небезпечних речовин під час експлуатації залізничного транспорту;
    2. Розробити математичну модель для оцінки рівня екологічної безпеки в умовах емісії хімічно небезпечних речовин на залізничному транспорті;
    3. Розробити метод оцінки територіального ризику в умовах емісії хімічно небезпечних речовин на залізничному транспорті;
    4. Розробити чисельну модель для підтримання прийняття рішень при реалізації технічних засобів захисту атмосфери від небезпечних речовин при технологічних або аварійних розливах з цистерни.

*Об'єкт дослідження* – процес розсіювання хімічно небезпечних речовин в атмосфері під час експлуатації рухомого складу залізничного транспорту.

*Предмет дослідження* – методи оцінки рівня екологічної безпеки й територіального ризику у разі організованої або аварійної емісії хімічно небезпечних речовин на залізничному транспорті.

**Методи досліджень** включають в себе аналітичні та експериментальні дослідження із використанням методів чисельного моделювання для оцінки рівня екологічної безпеки й територіального ризику в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті; порівняльний аналіз результатів математичного моделювання, натурних і лабораторних експериментів. Чисельне моделювання здійснювалося на основі фундаментальних рівнянь аеродинаміки й масопереносу.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У результаті виконання завдань дисертаційної роботи отримані нові методи оцінки та підвищення рівня екологічної безпеки на залізничному транспорті, а саме:

* + - 1. *Вперше* розроблено метод просторово-часової оцінки територіального ризику в разі емісії шкідливих або хімічно небезпечних речовин під час експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, який враховує рух джерела емісії, траєкторію руху складу, швидкість і напрямок вітру, режим викиду забруднювача з джерела емісії, що рухається.
      2. *Набула подальшого розвитку* математична модель для оцінки рівня екологічної безпеки в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті. Ця модель, на відміну від існуючих, дозволяє розрахувати нестаціонарний процес забруднення атмосферного повітря з урахуванням швидкості й траєкторії руху потягу, швидкості й напрямку вітру, стану атмосфери, типу емісії небезпечної речовини, процесу хімічної трансформації домішки в атмосфері.
      3. *Удосконалено* метод оцінки ефективності захисту атмосфери від забруднення під час ліквідації наслідків технологічних розливів на залізничному транспорті, що базується на відборі пара небезпечної речовини від зони розливу. Цей метод враховує, на відміну від існуючих, наявність

екранів біля зони розливу, положення витяжної парасолі та її геометричну форму.

**Практичне значення отриманих результатів.**

1. Розроблені математичні моделі у вигляді пакетів програм (кодів) для оцінки рівня екологічної безпеки й територіального ризику, впровадження яких дозволяє підвищити оперативність та якість прогнозної інформації під час оцінки впливу на навколишнє середовище на об'єктах залізничного транспорту.
2. Отримано методики для оцінки рівня екологічної безпеки й територіального ризику та розроблено програмне забезпечення, що дозволяє оцінити безпеку маршрутів транспортування небезпечних вантажів і можуть бути використані при розробці планів ліквідації аварійної ситуації для різних об'єктів залізничного транспорту.
3. Результати дисертаційної роботи впроваджено в Головному управлінні Державній службі з надзвичайних ситуацій України у Дніпропетровській області у вигляді чисельної моделі та пакетів програм для оцінки наслідків екстремальних ситуацій на хімічно небезпечних об'єктах регіону та транспорті, а також використано в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при проведенні практичних занять та курсового проектування з дисципліни «Екологічна безпека».

**Особистий внесок здобувача.** Особисто дисертанту належить формулювання наукової проблеми, мети і основних завдань досліджень, обґрунтування положень наукової новизни, встановлення практичної значимості результатів, формулювання загальних висновків. Дисертант виконав аналіз літературних джерел за темою дисертації, здійснив обґрунтування методів досліджень, виконав розробку математичних моделей та кодів. Автор роботи провів обчислювальні та фізичні експерименти, здійснив верифікацію побудованих моделей, обробку результатів досліджень.

Внесок автора у роботи, які виконані у співавторстві, полягає: в аналізі сучасних моделей оцінки рівня ЕБ [61]; у розробці чисельних моделей для оцінки ЕБ під час експлуатації рухомого складу або в умовах забруднення атмосфери в разі аварії під час транспортування хімічно небезпечних вантажів [11, 12, 14, 16, 61, 92]; у розробці методу оцінки територіального ризику під час експлуатації рухомого складу [15, 18, 61]; у розробці чисельної моделі, що базується на рівняннях аеродинаміки й масопереносу для дослідження ефективності захисту атмосфери від забруднення в разі використання місцевих відсмоктувачів, які працюють біля зони аварійного розливу [17]; у виконанні програмної реалізації розроблених моделей [61], у проведенні обчислювальних експериментів, аналізі та обробці результатів досліджень [11, 12, 14-18, 61, 92].

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались й обговорювались на: Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих вчених «Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах», присвяченій 85-річчю ХНАДУ (Харків, 2015); IV Всеукраїнській науково-практичній конференції НАНУ «Перспективи розвитку транспортного комплексу (Проблеми управління, економіки, екології та права щодо розвитку транспортного комплексу України)» (Одеса, 2015); Міжнародному науковому симпозіумі «Тиждень еколога – 2015» (Дніпродзержинськ, 2015); I Всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем «КМООС-2015» (Дніпропетровськ, 2015); V Міжнародної наукової конференції молодих вчених та студентів «Екологія. Довкілля. Молодь» (Полтава, 2015); 76-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 2016).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано **16** друкованих праць, у тому числі: **1** наукова монографія; **7** статей у наукових фахових виданнях, з яких 2 включені до міжнародних наукометричних баз даних; **6**

тез доповідей в збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій та **2** статті у інших наукових виданнях України.

**Структура та обсяг дисертації**. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків загальним обсягом 145 сторінок. Робота містить 15 таблиць, 49 рисунків, список використаних літературних джерел зі 114 бібліографічних найменувань, 3 додатки..

**ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі надане теоретичне узагальнення і нове рішення актуальної наукової задачі, що полягає у розробці нових методів оцінки рівня екологічної безпеки при емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті, які враховують рух джерела емісії, траєкторію руху складу, швидкість і напрямок вітру, режим викиду забруднювача з рухомих джерел емісії та дозволяють розраховувати нестаціонарний процес забруднення атмосферного повітря та визначати територіальні ризики зон забруднення, що забезпечує розробку обґрунтованих управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки.

Основні наукові й практичні результати дисертації полягають у такому:

1. На основі аналізу моделей, які використовуються для прогнозу забруднення атмосфери в разі емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті, встановлено, що вони не враховують низку шкідливих чинників, характерних при роботі рухомого складу. Це не дозволяє адекватно оцінити рівень екологічної небезпеки в разі емісії забруднювальних речовин на залізничному транспорті.
2. Запропонована математична модель для оцінки рівня екологічної безпеки в умовах організованої й неорганізованої емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті. Модель дозволяє оперативно розраховувати динаміку забруднення атмосферного повітря з урахуванням процесу хімічної трансформації викидів в атмосфері, траєкторії руху, типу викиду й використовує стандартну метеорологічну базу для прогнозу.
3. Уперше запропоновано метод просторово-часової оцінки територіального ризику під час експлуатації рухомого складу. Метод ґрунтується на чисельних моделях розсіювання небезпечних речовин в атмосфері й дозволяє оперативно прогнозувати просторово-часовий територіальний ризик з урахуванням можливих метеоситуацій, потужності

емісії небезпечних речовин, режиму емісії, траєкторії руху залізничного складу, хімічної трансформації викидів у атмосфері.

1. Набув подальшого розвитку метод оцінки ефективності захисту атмосфери від забруднення шляхом відсмоктування пари від зони технологічного або аварійного розливу хімічно небезпечної речовини. Метод базується на чисельному моделюванні процесу розсіювання небезпечних речовин у разі роботи відсмоктувача. Методом обчислювального експерименту, виконаного на базі розробленого методу, показано, що розміщення біля зони розливу екранів і вентилятора може істотно зменшити розміри області забруднення атмосфери й область впливу джерела емісії.
2. Розроблені моделі для оцінки рівня екологічної безпеки від джерела емісії, що рухається, які дозволяють розраховувати динаміку забруднення атмосферного повітря та земної поверхні під час оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) на об'єктах залізничного транспорту, а також оцінити територіальний ризик в умовах організованої й неорганізованої емісії небезпечних речовин, що дозволяє підвищити якість прогнозної інформації та оцінити зміну територіального ризику на примагістральній території з часом.
3. Наукові результати і практичні рекомендації з розробки методів оцінки екологічної безпеки при емісії небезпечних речовин на залізничному транспорті впроваджені в Головному управлінні Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Дніпропетровській області у вигляді чисельної моделі та пакетів програм для оцінки наслідків екстремальних ситуацій на хімічно небезпечних об'єктах регіону та транспорті, а також використані в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при проведенні практичних занять та курсового проектування з дисципліни

«Екологічна безпека».