

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ



**АРТЕМЧУК ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

УДК [001.891+519.6+004.42] : 504.064

**НАУКОВІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ  
НА ПРИКЛАДІ ОХОРОНИ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Спеціальність: 21.06.01 – екологічна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова Національної академії наук України, м. Київ.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент НАН України  
**ПОПОВ Олександр Олександрович**,  
Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,  
заступник директора з науково-організаційної роботи.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**ДИЧКО Аліна Олегівна**,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», заступник директора з наукової та науково-технічної роботи студентів Інституту енергозбереження та енергоменеджменту, професор кафедри геоінженерії;

доктор технічних наук, доцент  
**ШЕЛУДЧЕНКО Леся Сергіївна**,  
Подільський державний аграрно-технічний університет, доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК;

доктор технічних наук, доцент  
**БАРАБАШ Олена Василівна**,  
Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності.

Захист відбудеться «28» вересня 2021 року об 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035 та на сайті [www.dea.edu.ua](http://www.dea.edu.ua).

Автореферат розіслано «27» серпня 2021 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.880.01  
д-р техн. наук, доцент



О.В. Луньова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** В Україні проблема забруднення довкілля є дуже гострою. Так, в 2017 р. Всесвітня організація охорони здоров'я визнала, що в Україні найвищий в світі рівень смертності від забрудненого повітря. Для виправлення даної ситуації в Україні прийнято ряд важливих нормативно-правових актів та інших документів, серед яких за останні роки варто виділити: Закони України «Про оцінку впливу на довкілля» та «Про стратегічну екологічну оцінку», Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ), Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року тощо. Також наша країна приєдналася до світової спільноти стосовно запобігання зміні клімату через скорочення антропогенних викидів і збільшення абсорбції парникових газів та забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку, про що свідчать ратифіковані Україною Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Кіотський протокол, Паризька угода та інші міжнародні нормативні акти. Проте ціла низка проблем в галузі екологічної безпеки нашої країни (починаючи з неефективності системи моніторингу довкілля, відсутності належних інформаційних взаємозв'язків між дозвільними, контролюючими, звітними, моніторинговими та іншими інформаційними ресурсами через традиційно існуюче секторальне державне управління у сфері охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання, відтворення і охорони природних ресурсів, і закінчуючи наявністю значної кількості несистематизованої та непереведеної у цифровий формат інформації про стан довкілля на паперових носіях) не дозволяє на повну силу запрацювати даним нормативним актам та створює виклики для прийняття ефективних управлінських рішень в цій галузі.

Проблематиці управління в галузі екологічної безпеки присвячено багато досліджень провідних закордонних та українських вчених (Adamovsky A., An Q., Chu J., Cui Q., Halkos G.E., Liang L., Liu H., Long X., Song M.L., Wang S., Wu J., Андрійчук В.Г., Барабаш О.В., Білявський Г.О., Бондар О.І., Варламов А.О., Ващенко В.М., Галушкіна Т.П., Данилишин Н.В., Дичко А.О., Деревяго І.П., Єрмаков В.М., Завадський Й.С., Захматов В.Д., Князько О.П., Колихаєва Ю.А, Коренюк П.І., Лисиченко Г.В., Лозовська Н.М., Луньова О.В., Машков О.А., Ніколаєнко Т.С., Олексів І.Б., Петренко В.С., Петрук В.Г., Попов О.О., Риженко Н.О., Ришняк І.Н., Рожко З.П., Світин В.А., Степанов Д.В., Тархов П.В., Третяк А.М., Улицький О.А., Фінін Г.С., Фролов В.Ф., Чернюк М.О., Чогут Г.І., Чумаченко С.М., Шелудченко Л.С., Шкіца Л.Є., Шмандій В.М., Шматков Г.Г., Ясінецька І.А., Яцишин А.В. та ін.), проте в їхніх роботах недостатньо приділяється увага визначенню та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

Також, в Україні прийнято ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови», проте даний документ містить лише загальні настанови, і без відповідної теорії, математичного та

програмного забезпечення не може використовуватись для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. Крім того, існуючі засоби оцінювання забруднення довкілля (система моніторингу, математичні моделі забруднення навколишнього середовища від функціонування різних техногенних, зокрема енергетичних, об'єктів та відповідні програмні засоби), що є базисом для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, мають суттєві недоліки та потребують удосконалення.

Таким чином, наразі, фактично відсутній інструментарій (нормативне, методологічне, математичне та програмне забезпечення тощо) для оцінювання управлінських рішень, які безпосередньо чи опосередковано мають вплив на навколишнє середовище, щодо їх екологічної ефективності. Така ситуація створює перешкоди для ефективного управління в галузі екологічної безпеки, що, в свою чергу, стримує нашу країну на шляху досягнення цілей сталого розвитку. Тому, розвиток теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів є актуальною науково-прикладною проблемою, що потребує вирішення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні, державної екологічної політики України, державної політики з питань національної безпеки та наукових досліджень Національної академії наук України. Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в рамках наступних НДР: «Розробка теоретичних основ, алгоритмів та програмних засобів для аналізу даних еколого-енергетичного моніторингу техногенних навантажень на приземний шар атмосфери» (№ держ. реєстрації 0109U006951, 2010–2014 рр.); «Розробка інформаційного та програмного забезпечення для аналізу і прогнозування техногенних ризиків на локальному та регіональному рівнях в задачах планування та управління процесами сталого розвитку» (№ держ. реєстрації 0110U005223, 2010–2014 рр.); «Засоби проектування сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря в рамках зменшення техногенного впливу об'єктів енергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0113U002938, 2013–2014 рр.); «Засоби аналізу даних мережі моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики» (№ держ. реєстрації 0115U005149, 2015–2016 рр.); «Розвиток теоретичних основ, методів та засобів проектування локальних та регіональних мереж моніторингу стану атмосферного повітря» (№ держ. реєстрації 0114U006580, 2015–2019 рр.); «Засоби інтелектуального аналізу даних моніторингу стану атмосферного повітря в рамках зменшення техногенного впливу об'єктів енергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0117U003393, 2017–2018 рр.); «Перегляд ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» (договір № 802-17 від 10.08.2017 р., 2017 р.); «Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності

прийняття управлінських рішень» (№ держ. реєстрації 0118U005402, 2018–2019 рр.); «Дослідження моделей інформаційного забезпечення і розробка експериментальної інтелектуальної системи підтримки рішень для управління енергетичними системами» (№ держ. реєстрації 0220U102172, 2018–2019 рр.); «Засоби моделювання та прогнозування впливу місць зберігання відходів теплоенергетики на довкілля» (№ держ. реєстрації 0119U102308, 2019–2020 рр.); «Математичні та комп'ютерні засоби оцінки радіаційного впливу при аваріях із розливом рідких радіоактивних середовищ» (№ держ. реєстрації 0119U101481, 2019–2021 рр.); «Методологія побудови системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Розділ 1. Математичне забезпечення» (№ держ. реєстрації 0120U100518, 2020 р.); «Розвинення методів створення засобів підтримки управлінських рішень в задачах моніторингу атмосферного повітря», (№ держ. реєстрації 0120U101139, 2020–2022 рр.); «Математичні та програмні засоби підтримки прийняття рішень при аварійних розливах радіоактивних рідин на відкритій місцевості» (№ держ. реєстрації 0121U111797, 2021–2022 рр.), в яких автор брав участь як керівник або відповідальний виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України шляхом розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря та розроблення відповідних математичних та програмних засобів.

Для досягнення вказаної мети були поставлені та вирішені наступні основні наукові **завдання**:

1. Здійснити аналіз сучасних наукових підходів та нормативних актів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

2. Розробити концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

3. Розробити математичні засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

4. Розробити програмне забезпечення для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

5. Розробити підхід до побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

6. Запропонувати та удосконалити математичні та програмні засоби оцінювання впливу золовідвалів об'єктів теплоенергетики на атмосферне повітря, що можуть бути використані для визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Запропонувати та удосконалити моделі розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від викидів об'єктів енергетики для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. Удосконалити підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок.

9. Дослідити можливості використання сучасних засобів аналізу та візуалізації даних в контексті визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

10. Запропонувати варіанти використання та впровадження отриманих математичних та програмних засобів визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

**Об'єкт дослідження** – визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

**Предмет дослідження** – методи і засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі при розв'язанні поставлених наукових завдань комплексно використовувалися методи системного і функціонального аналізу, математичного моделювання, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії ризиків, теорії алгоритмів, теорії баз даних і багатовимірного аналізу даних, методи дослідження операцій, об'єктно-орієнтованого програмування, геоінформаційних технологій, планування наукового експерименту та обробки його результатів тощо.

**Наукова новизна** отриманих результатів. В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів. Основні наукові результати, що характеризують новизну виконаного дослідження, полягають у тому, що:

1. *Вперше розроблено* концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямиий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на виконання нормативних вимог та зобов'язань. Запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень».

2. *Вперше розроблено* систему визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включає адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

3. *Вперше розроблено* структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони

атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу.

4. *Вперше розроблено* теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території.

5. *Вперше запропоновано* метод уточнення коефіцієнтів для визначення річного виносу золоних частинок золовідвалу, що дозволило із більш високою точністю проводити моделювання та прогнозування впливу золошлаковідвалів підприємств паливно-енергетичного комплексу на стан забруднення атмосферного повітря прилеглих територій, зокрема при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі.

6. *Вдосконалено методи* ідентифікації параметрів моделей розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі від викидів стаціонарних техногенних джерел, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів моделей для точкових джерел за різних сценаріїв викидів, що дозволило зменшити похибку моделювання при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

7. *Вдосконалено підхід* до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням методики ГКД 34.02.305-2002 за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо). Обґрунтовано доцільність використання даної методики при врахуванні виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. *Дістали подальшого розвитку* форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі.

9. *Дістали подальшого розвитку* підходи до підготовки висококваліфікованих фахівців та управлінців в галузі екологічної безпеки за рахунок впровадження запропонованих математичних і програмних засобів та імерсивних технологій.

**Практичне значення отриманих результатів.** До результатів, що мають найбільшу практичну цінність, належать:

1. Розроблена концепція, математичне та програмне забезпечення для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря дозволяє здійснити обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

2. Використання розроблених методів та засобів дозволяє розвивати існуючі та проектувати нові сучасні мережі моніторингу стану атмосферного повітря за рахунок побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. Побудова таких мереж дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України, зокрема для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень, та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

3. Отримані в роботі засоби для моделювання та аналізу забруднення атмосферного повітря від різних техногенних джерел (ТЕС, ТЕЦ, золошлаковідвали, радіаційно-небезпечні об'єкти тощо) дають можливість відповідним службам визначати вплив даних об'єктів на довкілля, персонал та населення прилеглих територій, та здійснювати ефективне управління екологічною безпекою в зонах їх впливу.

Результати роботи використано при: підготовці пропозицій «Деякі проблемні питання моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря в законодавстві України» на Парламентські слухання «Пріоритети екологічної політики Верховної Ради України на наступні п'ять років» від 27 листопада 2019 р.; перегляді «ГКД 34.02.305-2002 Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» (договір № 802-17 від 10.08.2017 р.); підготовці зауважень та пропозицій до проекту «Методичних рекомендацій з розробки звіту з оцінки впливу на довкілля для теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива» (від 06.08.2020 р.).

Результати роботи впроваджено в: Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); ТОВ «Науковий парк Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління «ЧОРНОБИЛЬ» (акт впровадження від 19 квітня 2018 р.); Державній екологічній інспекції України (лист 6152/2.5/7-19 від 27 вересня 2019 р.); Біоенергетичній асоціації України (акт впровадження від 17 грудня 2019 р.); Головному управлінні ДСНС України у Запорізькій області



(акт впровадження від 27 листопада 2020 р.); Дарницькому районному управлінні Головного управління ДСНС України у м. Києві (акт впровадження від 3 грудня 2020 р.) та Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (акт впровадження від 15 червня 2021 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Праці [13, 14, 15, 16, 19, 20, 23, 24, 29, 56, 58, 60, 64, 65, 67, 72] написані автором одноосібно. У працях, опублікованих у співавторстві, автору належать: розроблення та опис засобів проектування та аналізу даних мереж моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою [1]; математична постановка задачі проектування мережі моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту та методи її вирішення [2, 52]; огляд літературних джерел, участь в розробленні концептуальних схем [3]; розроблення основних модулів описаного програмного забезпечення [4, 59, 63, 66, 68, 69, 71, 80]; огляд літературних джерел, опис систем попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на АЕС України [5]; аналіз літературних джерел, визначення особливостей підготовки фахівців у галузі екологічної безпеки до застосування автоматизованих систем підтримки прийняття управлінських рішень [6]; визначення та опис факторів впливу на розподіл концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі [7]; підготовка даних, розробка програмного забезпечення, побудова карт ризиків [8, 11, 62, 74]; опис прикладів застосування технологій доповненої реальності [9]; дослідження особливостей застосування різних моделей та методик для визначення впливу золовідвалів на довкілля [10, 44, 47, 85]; огляд літературних джерел, визначення мети та задач дослідження [12, 27, 28, 77, 88]; збір та оброблення даних, розроблення та використання програмного забезпечення [17, 18, 22, 25, 26, 30, 33, 34, 36, 38, 45, 46, 49]; збір та оброблення даних [21]; оцінювання екологічних ризиків [31, 37]; опис експертних систем [32]; огляд методів аналізу ризиків [35]; опис та обґрунтування змін до методики [39]; дослідження та використання засобів інтелектуального аналізу даних [40, 73, 75]; опис та дослідження інформаційних засобів аналізу екологічних ризиків [41, 55]; проектування програмного забезпечення [42]; розроблення та дослідження математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень [43, 76, 78, 79, 81, 82]; критичний аналіз існуючих програмних засобів в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря [48, 53, 54]; огляд підходів до вирішення задач оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря з використанням маршрутних постів [50, 84]; огляд літературних джерел та інформаційних ресурсів [51, 57, 61, 70, 83]; опис та дослідження засобів вирішення задачі побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту [86, 87].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на: XXXI–XXXIX щорічних науково-технічних конференціях молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (м. Київ, 2012–2021 рр.); Міжнародній науковій конференції «Зелена економіка: перспективи

впровадження в Україні» (м. Київ, 2012 р.); Міжнародних наукових конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2012–2017 рр.); IX–XI Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2015–2018 рр.); Українських конференціях молодих науковців «Інформаційні технології» (м. Київ, 2015–2019 рр.); XI–XV Міжнародних конференціях «Стратегія якості в промисловості і освіті», (Болгарія, м. Варна, 2015–2019 рр.); V Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю, (м. Вінниця, 2015 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 2015 р.); Міжнародних наукових конференціях «МОДЕЛЮВАННЯ» (м. Київ, 2016 р. та 2018 р.); IV–XIII Всеукраїнських науково-практичних конференціях молодих учених «Наукова молодь» (м. Київ, 2016–2020 рр.); I Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні», (м. Київ, 2017 р.); V international conference «Chemical and Radiation Safety: Problems and Solutions» (Kyiv, 2017); Всеукраїнських науково-практичних Internet-конференціях «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» (м. Черкаси, 2015–2021 рр.); II Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічній сферах України: теорія і практика» (м. Київ, 2018 р.); 2nd International scientific and practical conference «Perspectives of World Science and Education» (Osaka, Japan, 2019); Науково-практичних конференціях ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України «Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації» (м. Київ, 2019–2020 рр.); «ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer» (Kharkiv, 2020); «Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters» (Kryvyi Rih, 2020–2021); IV All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists «Prospects of Territorial Development: Theory and Practice» (Kharkiv, 2020); International scientific-practical conference «Modern Problems of Nature Protection and Sustainable Development» (Semey, Kazakhstan, 2020). Матеріали і результати дослідження обговорювалися на засіданнях відділів та вченої ради ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України (2012–2021 рр.).

**Публікації.** Результати дослідження опубліковано у 88 наукових працях, серед яких: 2 монографії; 10 статей у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science; 40 статей у наукових фахових виданнях України; 36 тез та матеріалів конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, переліку умовних скорочень, шести розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації – 432 сторінки, з них 288 сторінок основного тексту.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність напрямку досліджень за обраною темою; зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульовано мету і задачі наукового дослідження; охарактеризовано наукову новизну отриманих результатів і практичну цінність роботи; наведено дані про особистий внесок здобувача та апробацію результатів дисертації.

У першому розділі «**Аналіз сучасних наукових підходів та нормативних актів в сфері визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень**» проаналізовано сучасні наукові підходи в сфері визначення екологічної ефективності (ЕЕ) прийняття управлінських рішень (УР). Встановлено, що існують різні визначення терміну «екологічна ефективність» (табл. 1), які, по-перше, значно відрізняються за суттю та змістом між собою, а, по-друге, мають абстрактний характер, що, фактично, не дозволяє математично формалізувати визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень (ЕЕПУР). Визначено, що в наукових публікаціях більшість авторів розглядає екологічну ефективність без зазначення методів та засобів для її чисельного розрахунку. В небагатьох підходах, де пропонуються математичні засоби визначення екологічної ефективності, зокрема ЕЕПУР, можна виділити ряд недоліків, оскільки вони не враховують наступні аспекти:

1) УР може одночасно призводити до сприятливих та несприятливих змін в довкіллі (наприклад, викиди одних забруднюючих речовин (ЗР) буде зменшено, а інших навпаки – збільшено);

2) УР може становити не лише прямий, а й опосередкований вплив на екологічний стан довкілля;

3) УР щодо підвищення безпеки техногенних об'єктів зменшують ризик аварій та надзвичайних ситуацій (НС) на них, які, як правило, призводять до несприятливих змін в довкіллі, тому ЕЕ таких УР не можна вважати нульовою;

4) врахування лише прямих кількісних показників, що призводять до несприятливих чи сприятливих змін в довкіллі (наприклад, кількості чи потужності викидів ЗР), не дозволяє адекватно оцінити ЕЕПУР, наприклад, зменшення викидів SO<sub>2</sub> від ідентичних підприємств на 10 тис. т. за рік матиме різні наслідки для населення/територій, де немає перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) SO<sub>2</sub> і де такі є;

5) аналогічно до аспекту з п. 4 необхідно враховувати також часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість та кількість населення території, на яку воно впливає;

6) окремим аспектом слід виділити вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань, наприклад, щодо виконання НПСВ.

Здійснено дослідження чинних вітчизняних та імplementованих Україною закордонних нормативних актів в сфері екологічної безпеки та управління. Серед них варто виділити виданий в Україні стандарт ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови», в якому описано процес оцінювання екологічної дієвості. Проте даний документ містить лише загальні настанови, і без відповідної теорії, математичного та

програмного забезпечення не може використовуватись для визначення та аналізу ЕЕПУР. Пошук по базі даних законодавства України не виявив більше документів, які напряду стосувалися б термінів «екологічна дієвість» та/або «екологічна ефективність».

Таблиця 1 – Основні існуючі визначення терміну «екологічна ефективність» та близьких до нього

Термін	Визначення	Джерело/автор(и)
Екологічна дієвість; екологічні характеристики (environmental performance – англ.)	Вимірні результати управління організацією своїми екологічними аспектами. У контексті системи екологічного управління результати може бути виміряно щодо екологічної політики організації, її екологічних цілей та екологічних завдань, а також інших вимог до екологічних характеристик.	ДСТУ ISO 14031:2016 «Екологічне управління. Оцінювання екологічної дієвості. Настанови»
Екологічна ефективність	Відображає відповідність витрат і екологічних результатів інтересам держави й суспільства.	Ярославський А.О.
Екологічна ефективність	Характеризує ощадливе відношення підприємства до навколишнього середовища, що сприяє зменшенню тиску підприємств на довкілля.	Лозовська Н.М., Рожко З.П.
Екологічна ефективність	Зіставлення витрат на проведення екологічних заходів і можливого збитку (як для організації – потенційного платника штрафу за перевищення рівня забруднень, так і для суспільства в цілому – порушення екологічної рівноваги і його наслідки) в разі ігнорування даних заходів.	Колихаєв Ю.О.
Екологічна ефективність	Зменшення витрат на ліквідацію наслідків інтенсивного антропогенного впливу та втручання в навколишнє середовище, створення умов для розширеного відтворення природних ресурсів. Повинна відображати ступінь раціональної діяльності людини, результативність екологічних заходів щодо запобігання збитків, що завдаються виробництвом.	Скорупська О.П., Жак І.Б.
Екологічна ефективність	Створені управлінськими діями умови щодо збереження земельних ресурсів, інших елементів навколишнього природного середовища та їх поліпшення.	Варламов А.О.

Таким чином, зважаючи на вищезазначені недоліки та обмеженість існуючих підходів та нормативних актів, можна стверджувати, що, розвиток теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів є актуальною науково-прикладною проблемою, що потребує вирішення.

У другому розділі «**Концептуальний підхід до визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень**» розроблено концепцію визначення ЕЕПУР (рис. 1), що враховує: можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення НС; часову тривалість дії ефекту від УР; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.



Рис. 1. Концепція визначення ЕЕПУР

В рамках розробленої концепції запропоновано наступний підхід до визначення ЕЕПУР. Для кожного УР із заданої наперед множини:

1. Визначити перелік екологічних аспектів, які характеризують УР.
2. Визначити з даного переліку екологічних аспектів такі, які необхідно враховувати при визначенні ЕЕПУР, зважаючи на можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі, його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення НС; часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.
3. Для кожного екологічного аспекту визначити його стан (рівень, значення тощо) до реалізації УР та після.
4. Побудова адекватної оціночної функції для даної сфери та класу УР.
5. Визначення ЕЕПУР для кожного УР із заданої наперед множини з використанням побудованої оціночної функції.

Відповідно до розробленої концепції запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень» – узагальнений показник, що характеризує наслідки для довкілля (у тому числі для здоров'я населення) УР та враховує: можливість УР одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі, його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення НС; часову тривалість дії ефекту від УР, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив УР на виконання нормативних вимог та зобов'язань.

Аналіз нормативних документів та статистичних даних щодо викидів від різних джерел забруднення АП показав, що найбільш актуальними для перевірки екологічної ефективності є УР в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива. Це, зокрема, підтверджується п. 2.2 статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» та п. 3 НПСВ. Тому, в подальшому акцент в роботі здійснювався саме на даний клас та сферу УР.

У третьому розділі «**Математичні засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень**» на основі запропонованої концепції розроблено систему визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включає адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

Оскільки УР, що призводять до наслідків для довкілля, у тому числі для здоров'я населення, характеризуються значною кількістю екологічних аспектів, які, як правило, складно порівнювати між собою, то в рамках даної задачі багатокритеріального аналізу виникає математична задача побудови відповідної адекватної оціночної функції ЕЕПУР.

Побудова адекватної *оціночної функції* здійснюється наступним чином. Позначимо через  $W_i$  ЕЕ прийняття  $i$ -го УР серед  $m$  наявних альтернатив (варіантів).

Використовуючи введене поняття ЕЕПУР актуальними з точки зору нормативних документів та практики є вирішення таких задач:

1) вибір найкращого з точки зору ЕЕ УР для виконання, тобто визначення  $i$  для якого:

$$W_i = \max_i(W_i), i = \overline{1, m}; \quad (1)$$

2) перевірка доцільності виконання  $m_b$  раніше прийнятих УР (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту):

$$W_i > 0, i = \overline{1, m_b}. \quad (2)$$

Позначимо через  $n$  – кількість екологічних аспектів для заданої множини з  $m$  УР, тоді:

$$W_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де:  $u_j(x_{ji})$  – функції бажаності (складова ЕЕ) для  $i$ -го УР серед  $m$  наявних альтернатив (варіантів) за  $j$ -им екологічним аспектом (критерієм) з  $n$  наявних для даної множини УР;  $k_j$  – вагові коефіцієнти, які необхідно обирати так, щоб:

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1, j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Для невеликих значень  $n$  визначення вагових коефіцієнтів можна здійснювати з використанням адаптованої системи експертних оцінок методом безпосереднього оцінювання на основі універсальної 9-бальної шкали Томаса Сааті.

В найпростішому випадку (наприклад, для рівнозначних функцій  $u_j(x_{ji})$ ) можна прийняти:

$$k_1 = k_2 = \dots = k_n \Rightarrow k_j = \frac{1}{n}, j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Якщо число  $n$  буде великим, то визначення вагових коефіцієнтів  $k_j$  стає задачею з дуже великою розмірністю. Розглянемо наступний приклад. Нехай для заданої множини УР необхідно врахувати  $Z=33$  ЗР (сумарна кількість ЗР списку А та Б «Порядку здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря»), вплив яких може мати синергетичний ефект. Тоді, стан визначеної точки (комірки) досліджуваної території з координатами  $(X_i, Y_j)$ , значенням соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності  $e_{ij}$  та концентрацією  $k$ -ої ЗР  $q_{ijk}$  буде визначатись поєднанням факторів:

$$\begin{aligned} & e_{ij}q_{ij1}; e_{ij}q_{ij2}; \dots; e_{ij}q_{ijZ}; \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}; e_{ij}q_{ij1}q_{ij3}; \dots; e_{ij}q_{ij1}q_{ijZ}; \dots \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij3}; e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij4}; \dots; e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ijZ}; \dots; \\ & e_{ij}q_{ij1}q_{ij2}q_{ij3}q_{ij4} \dots q_{ijZ-1}q_{ijZ}. \end{aligned}$$

Таким чином, необхідно врахувати  $2^Z$  показників, для прикладу при  $Z=33$  це буде  $2^{33} \approx 8,6 \cdot 10^9$ . При цьому, навіть якщо не розглядати синергетичний ефект, значення  $n$  все одно буде великим.

Розглянемо наступний приклад. Якщо для множини УР в енергетичному секторі щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій (ТЕС, ТЕЦ) та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива тощо розглядати тільки вплив УР в контексті наслідків для АП, у тому числі для здоров'я населення, то отримуємо, що таке УР для стаціонарного точкового джерела викидів (труба

ТЕС, ТЕЦ) буде мати наступні екологічні аспекти: (1–33) – потужність викидів для кожної з 33 ЗР до початку реалізації УР,  $г/с$ ; (34–66) – концентрації (розподіли на території реалізації УР – розміщення стаціонарного точкового джерела викидів) для кожної з 33 ЗР до початку реалізації УР,  $мг/м^3$ ; (67–99) – потужність викидів для кожної з 33 ЗР після реалізації УР,  $г/с$ ; (100–104) – параметри стаціонарного точкового джерела викидів (висота та діаметр труби,  $м$ ; швидкість виходу ЗР,  $м/с$ ; температура ЗР, що викидаються,  $^{\circ}C$ ; географічні координати) до початку реалізації УР; (105–109) – параметри стаціонарного точкового джерела викидів (висота та діаметр труби,  $м$ ; швидкість виходу ЗР,  $м/с$ ; температура ЗР, що викидаються,  $^{\circ}C$ ; географічні координати) після реалізації УР; (110) – кількість (розподіл на території реалізації УР – розміщення стаціонарного точкового джерела викидів) населення; (111+) – специфічні показники, наприклад, щодо зміни загальних викидів  $SO_2$ ,  $NO_x$  і пилю з метою реалізації НПСВ. Маємо, що навіть для УР щодо зміни типу палива для одного стаціонарного точкового джерела викидів (труба ТЕС, ТЕЦ) маємо більше ста екологічних аспектів, які необхідно врахувати.

Така ситуація значно ускладнює експертне визначення вагових коефіцієнтів  $k_j$  з формули  $W_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot u_j(x_{ji})$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , оскільки  $n$  в даному

випадку хоч і не буде більше мати значення більше ста, проте гарантовано більше кількості ЗР, що розглядаються (у нашому випадку 33). Тому, необхідно зменшити число  $n$  так, щоб при цьому функція визначення ЕЕПУР залишалася адекватною. Для цього в роботі пропонується використати зміну інтегрального ризику  $IRE_i$  від забруднення, значення якої буде основою при визначенні  $W_i$ , в найпростішому випадку оцінювання можна робити на основі формули:

$W_i = \frac{IRE_i}{\max_i(|IRE_i|)}$ . Крім того, згідно перерахованих екологічних аспектів,

запропонованого визначення ЕЕПУР та для подолання недоліку щодо врахування в багатьох існуючих підходах лише прямих кількісних показників несприятливих чи сприятливих змін в довкіллі, що не дозволяє адекватно оцінити ЕЕПУР, доцільно від кількісних показників забруднення переходити до ризиків для здоров'я населення. Такий перехід дозволить значно зменшити значення  $n$  при побудові адекватної оціночної функції ЕЕПУР.

Одним з таких видів ризику, що пропонується в роботі для визначення ЕЕПУР, що мають довготривалі ефекти, є ризик хронічної інтоксикації. Він розраховується для певного проміжку часу (місяць, рік тощо) за формулою:

$$Rc = 1 - \exp \left[ -0,174 \left( \frac{q}{ГДК_{сд} \cdot K_3} \right)^{\beta} \cdot t \right], \quad (6)$$

де:  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує особливості токсичних властивостей речовини;  $K_3$  – параметр, який залежить від класу небезпеки ЗР (коефіцієнт забруднення);  $q$  – концентрація ЗР в АП, яка впливає на населення протягом часу  $t$ ,  $мг/м^3$ ;  $ГДК_{сд}$  – гранично допустима концентрація ЗР (середньодобова),  $мг/м^3$ .



Таким чином, для кожної точки (комірки) досліджуваної території з координатами  $(X_i, Y_j)$ , значенням соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності  $e_{ij}$  та концентрацією  $k$ -ої із  $Z$  ЗР  $q_{ijk}$  (до прийняття УР та прогноз після його реалізації) обчислюється зміна інтегрального ризику хронічної інтоксикації  $IREC$  для всіх альтернатив з множини УР на основі виразів (7)–(9):

$$Rc_{ijk} = 1 - \exp \left[ -0,174 \left( \frac{q_{ijk}}{\Gamma ДК_{CD.k} \cdot K_3} \right)^\beta \cdot t \right], \quad (7)$$

$$\overline{Rc}_{ij} = \prod_{k=1}^Z (1 - Rc_{ijk}), \quad (8)$$

$$Rc_{ij} = 1 - \overline{Rc}_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^Z (1 - Rc_{ijk}), \quad (9)$$

$$IREC_l = \sum_i \sum_j e_{ij} (Rc_{ij \text{ before}} - Rc_{ij \text{ after}}), \quad l = \overline{1, m}. \quad (10)$$

Нормоване значення зміни інтегрального ризику хронічної інтоксикації  $IREC_l$  пропонується використати в якості першої функції бажаності  $u_1(x_{li})$ :

$$W_i = k_1 u_1(x_{li}) + \sum_{j=2}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}) = k_1 \frac{IREC_i}{\max_i(|IREC_i|)} + \sum_{j=2}^n k_j \cdot u_j(x_{ji}), \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (11)$$

В залежності від конкретної множини УР кількість функцій бажаності при визначенні ЕЕПУР може відрізнятись та, за необхідності, включати наступні функції бажаності:

1) Функцію бажаності, що розраховується на основі формул (8)–(10), але із застосуванням ризику миттєвих токсичних ефектів на основі моделі індивідуальних порогів дії, який визначається за наступною формулою:

$$Ri_{ijk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{a+b \lg(q_{ijk}/\Gamma ДК_{MP.k})} \exp(-\tau^2 / 2) d\tau, \quad (12)$$

де:  $a$  і  $b$  – параметри, що залежать від токсикологічних особливостей ЗР;  $\Gamma ДК_{MP.k}$  – гранично допустима концентрація (максимально-разова)  $k$ -ої ЗР,  $мг/м^3$ .

Тоді зміна інтегрального ризику миттєвих токсичних ефектів  $IREI$  для всіх альтернатив з множини УР буде визначатися як:

$$IREI_l = \sum_i \sum_j e_{ij} (Ri_{ij \text{ before}} - Ri_{ij \text{ after}}), \quad l = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Використання функції бажаності на основі ризику миттєвих токсичних ефектів є доцільним для УР щодо діяльності техногенних об'єктів, які можуть як в штатному, так і в аварійному режимах здійснювати значні залпові викиди ЗР в атмосферне повітря.

2) Функцію бажаності, що розраховується на основі (8)–(10) з використанням або ризику хронічної інтоксикації або ризику миттєвих токсичних ефектів, але зважена на зміну ризику виникнення НС  $\Delta p$ :

$$IREp_l = \Delta p_l \sum_i \sum_j e_{ij} (Rp_{ij \text{ before}} - Rp_{ij \text{ after}}), l = \overline{1, m}, \quad (14)$$

де:  $Rp_{ij \text{ before}}, Rp_{ij \text{ after}}$  – інтегральні ризики хронічної інтоксикації (або ризики миттєвих токсичних ефектів) від потенційної НС до та після реалізації УР щодо зменшення ризику  $p$  виникнення такої НС ( $\Delta p = p_{\text{before}} - p_{\text{after}}$ ).

3) Функції бажаності  $UQ$ , що враховують зміни загальних викидів певних ЗР чи їх граничних концентрацій з метою реалізації (виконання) нормативних вимог та обмежень (наприклад, зміни загальних викидів  $SO_2$ ,  $NO_x$ , пилу з метою реалізації НПСВ). При цьому, в залежності від конкретної множини УР і нормативних вимог та обмежень, можливі різні підходи до визначення такої функції бажаності:

а) невиконання вимог враховується як нульове значення відповідної частини функції, а виконання – як одиничне значення:

$$UQ_{iz} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } Q_{iz \text{ after}} \leq Q_{iz \text{ max}} \\ 0, \text{ якщо } Q_{iz \text{ after}} > Q_{iz \text{ max}} \end{cases}, \quad i = \overline{1, m}, z = \overline{1, Z_l}; \quad (15)$$

б) невиконання вимог (як і перевиконання) враховується пропорційно до планових значень:

$$UQ_{iz} = \frac{Q_{iz \text{ before}} - Q_{iz \text{ after}}}{\max_i (|Q_{iz \text{ before}} - Q_{iz \text{ after}}|)}, \quad i = \overline{1, m}, z = \overline{1, Z_l}, \quad (16)$$

де:  $Q_{\text{before}}, Q_{\text{after}}, Q_{\text{max}}$  – обсяг викидів певної ЗР (до та після реалізації УР) та їх максимальне значення згідно вимог відповідно,  $k_2$ ;  $Z_l$  – кількість ЗР, для яких встановлено нормативні вимоги чи обмеження для заданої множини УР.

4) Функції бажаності  $UT$ , що враховують часові та фінансові витрати на виконання проекту та інші важливі аспекти для даної множини УР. При цьому вирази для визначення  $UT$ , як правило, будуються аналогічно до (15)–(16).

З врахуванням (13)–(16) формула визначення ЕЕПУР прийме вигляд:

$$W_i = k_1 \frac{IREc_i}{\max_i (|IREc_i|)} + k_2 \frac{IREi_i}{\max_i (|IREi_i|)} + k_3 \frac{IREp_i}{\max_i (|IREp_i|)} + \\ + \sum_{j=4}^{3+Z_l} k_j \cdot UQ_{iz} + \sum_{j=4+Z_l}^n k_j \cdot UT_{iz}, \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (17)$$

Для визначення ЕЕПУР на прикладі охорони АП необхідно мати інформацію про розподіл концентрацій кожної  $k$ -ої ЗР на досліджуваній території до та після реалізації відповідного УР. При цьому прогнозні значення концентрацій можна визначити лише за допомогою моделювання, тому для визначення та аналізу ЕЕПУР в енергетичному секторі в контексті охорони АП необхідно використовувати різні моделі розповсюдження ЗР в АП від викидів об'єктів енергетики. В роботі проаналізовано різні сучасні моделі забруднення АП та запропоновано використання комплексу моделей Попова О.О. [1, 2], що забезпечують високу точність моделювання для різних типів об'єктів та сценаріїв викидів. Наприклад, для визначення зміни інтегрального ризику

хронічної інтоксикації  $IREc$ , запропоновано використовувати стохастичну модель розповсюдження в АП домішок від стаціонарних джерел забруднень (ДЗ), що дає можливість визначати рівень техногенного впливу на територію від дії одного або декількох ДЗ за тривалий період часу (місяць, рік тощо).

Для отримання мінімальної похибки при використанні запропонованих моделей для конкретного типу ДЗ та території необхідно здійснювати ідентифікацію їх параметрів, що, з однієї сторони, потребує даних натурних експериментів, а, з іншої, – застосування відповідних математичних методів та значних часових затрат.

В даному випадку задача ідентифікації зводиться до знаходження мінімуму функції багатьох змінних. Для вирішення такої задачі відомо багато методів, зокрема градієнтні. Але перед програмною реалізацією таких методів необхідно досліджувати можливість їх використання для кожної окремої функції, що вимагає складних математичних викладок та доведень. Щоб уникнути зайвих труднощів, при вирішенні даної задачі в роботі застосовано універсальний метод, можливість використання якого не вимагає окремого дослідження – метод перебору, основним недоліком якого є більші витрати часу для отримання кінцевого результату в порівнянні з іншими методами. Суть методу повного перебору в даному випадку полягає в тому, що для кожного параметру моделі  $s_i$  визначається множина його значень для перебору в межах

$[s_{i,MIN}; s_{i,MAX}]$  з кроком  $d_i = \frac{s_{i,MAX} - s_{i,MIN}}{n_i}$  (рис. 2).

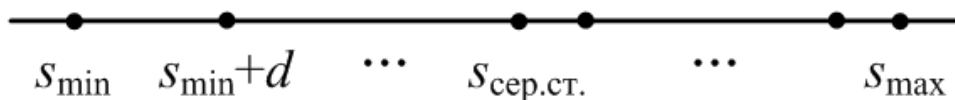


Рис. 2. Схематичне представлення сітки значень одного параметру моделі

Для зменшення часу відповідних обчислень в роботі вдосконалено методи ідентифікації параметрів моделей розповсюдження ЗР в АП від викидів об'єктів енергетики, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, розроблено алгоритм зниження розмірності задачі (рис. 3) та алгоритм розпаралелення обчислень (рис. 4).

Запропоновані в роботі математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання дозволили встановити, що найбільш вагомими параметрами використовуваних моделей є коефіцієнти турбулентної дифузії, хімічної трансформації, поглинання підстилаючою поверхнею та вимивання опадами.

В рамках дисертаційного дослідження описано ряд проведених та опрацьованих натурних експериментів щодо визначення концентрацій основних ЗР в приземному шарі атмосфери (ПША) від викидів декількох підприємств (що є точковими, лінійними та площадковими ДЗ) за різних сценаріїв забруднення. На основі отриманих результатів експериментів з

використанням вдосконалених методів ідентифікації більш точно визначено параметри математичних моделей розповсюдження ЗР в АП (на прикладі основних ДЗ АП м. Києва), що дозволило зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5%.

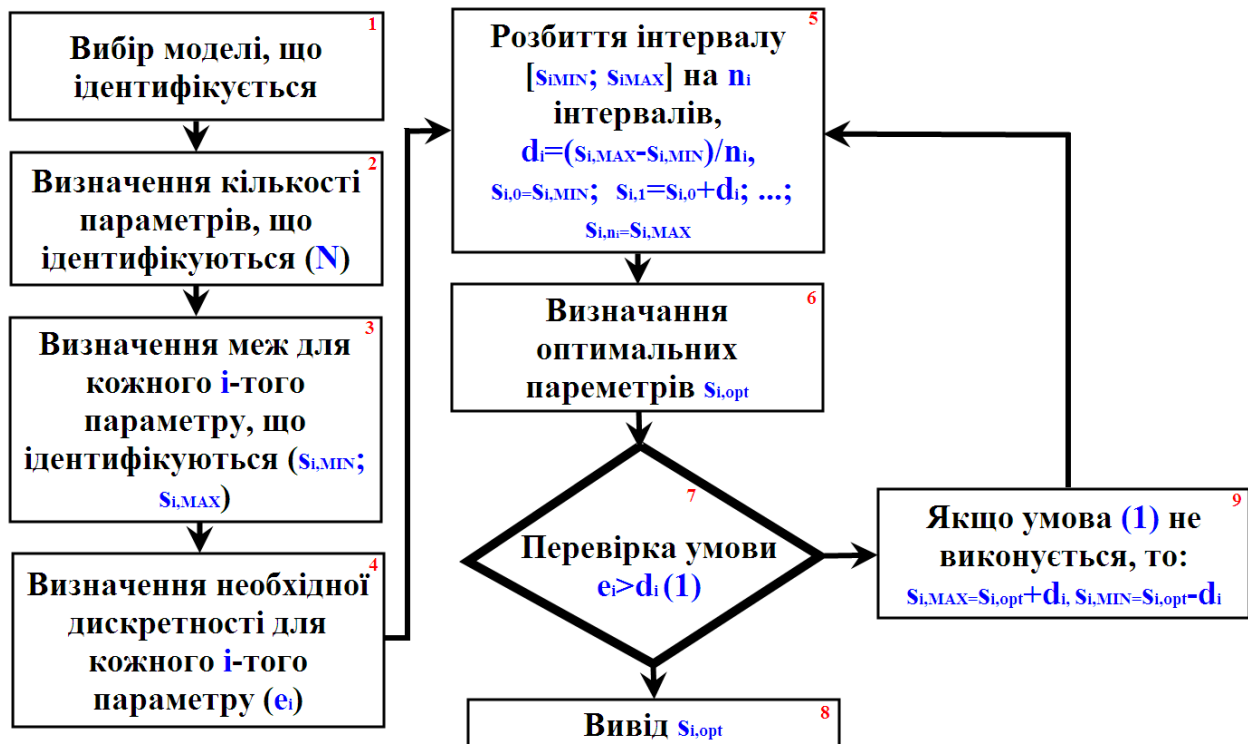


Рис. 3. Алгоритм зниження розмірності задачі ідентифікації

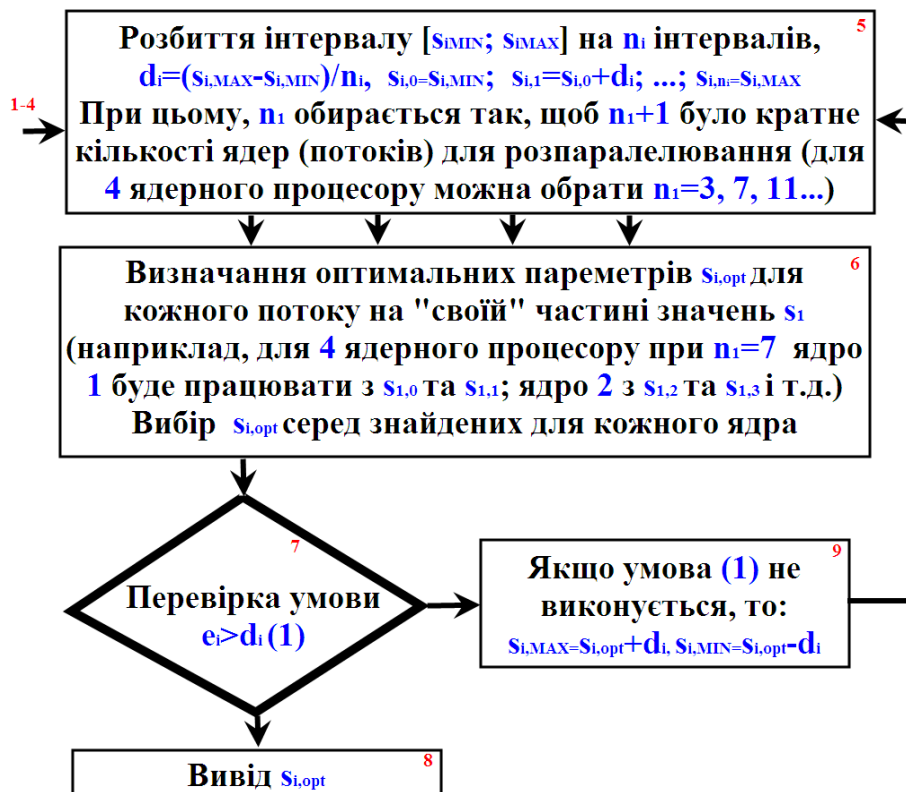


Рис. 4. Алгоритм розпаралелення обчислень

Одним з найбільш потужних ДЗ АП твердими частинками в енергетичному секторі є золовідвали. При визначенні ЕЕПУР щодо таких ДЗ необхідно мати відповідні засоби для визначення та прогнозування їх впливу на АП. Через відсутність затверджених в Україні відповідних методик та засобів в роботі для оцінки впливу золовідвалів на забруднення АП запропоновано використовувати закордонну методику розрахунку оцінки вітрової ерозії і пиління золовідвалів теплових електростанцій.

Проте в даній методиці є ряд недоліків, а саме нечітке визначення ряду коефіцієнтів для оцінювання річного виносу золових частинок або еродованості об'єкта. Такими коефіцієнтами є: коефіцієнт затухання  $\alpha$ ; поправочний коефіцієнт  $K_4$ , що враховує захищеність золошлаковідвалу при застосуванні оперативних методів боротьби з пилом; поправочний коефіцієнт  $K_3$ , що враховує захищеність золошлаковідвалу від вітрового впливу.

Для усунення цих недоліків запропоновано метод уточнення коефіцієнтів, для пояснення якого на рис. 5 схематично представлено золошлаковідвал.

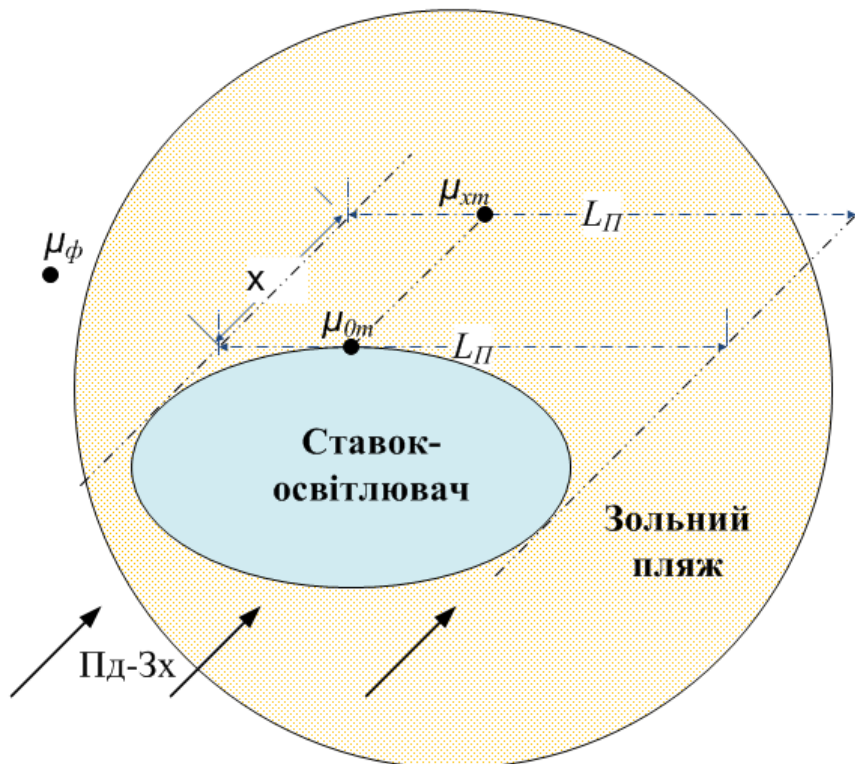


Рис. 5. Схематичне представлення золошлаковідвалу

Метод уточнення коефіцієнтів складається з наступних кроків:

1. Здійснюємо  $n_{\alpha}$  експериментальних вимірів приземної концентрації пилу  $\mu_{xm}$  (запиленість на відстані  $x$  від дамби,  $мг/м^3$ ) при різних напрямках вітру та  $\mu_{\phi}$  (фонове забруднення пилом,  $мг/м^3$ );
2. коригуємо виміряні значення з урахуванням  $\mu_{\phi}$ :

$$\begin{aligned}\mu_{xa} &= \mu_{xm} - \mu_{\phi}, \\ \mu_{0a} &= \mu_{0m} - \mu_{\phi};\end{aligned}\tag{18}$$

3.  $n_\alpha$  разів обчислюємо  $\mu_x = \mu_{0\alpha} \cdot e^{-\alpha x}$ ;
4. із  $\sum_{i=1}^{n_\alpha} (\mu_{x_i} - \mu_{x_{\alpha i}})^2 \rightarrow \min$  знаходимо коефіцієнт затухання  $\alpha$ ,  $1/m$ ;
5. із  $\sum_{i=1}^{n_k} (\mu_{0_i} - \mu_{0_{\alpha i}})^2 \rightarrow \min$  знаходимо поправочний коефіцієнт  $K_4$ ;

6. після визначення коефіцієнта  $K_4$ , аналогічно знаходимо поправочний коефіцієнт  $K_3$ , що враховує захищеність золошлаковідвалу від вітрового впливу (вплив висотних елементів рельєфу, спеціальних вітрозахисних споруд, лісопосадок) і закріплення поверхні зольного пляжу.

На основі даних натурних вимірювань концентрацій ЗР в межах золовідвалу ТОВ «Євро-Реконструкція» (ТЕЦ-4, м. Київ) було уточнено відповідні коефіцієнти (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати уточнення коефіцієнтів  $\alpha$ ,  $K_4$

Коефіцієнт	Згідно методики	Після уточнення
$\alpha$	$6,2 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$
$K_4$	$0,1 \div 0,5$	0,37
Середня похибка моделювання, %	23	14

Для визначення ЕЕПУР щодо радіаційно-небезпечних об'єктів запропоновано використовувати математичні засоби моделювання аварійних розливів радіоактивних рідин (автор Кириленко Ю.О. [51, 83]), в результаті випаровування яких здійснюється забруднення АП, що становить загрозу для персоналу та населення прилеглих територій. Дані моделі, на відміну від аналогів, дозволяють отримати динамічну картину об'ємних концентрацій радіонуклідів в повітрі технологічного приміщення та потужності викиду в навколишнє середовище.

У четвертому розділі «Програмні засоби визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в галузі енергетики на прикладі охорони атмосферного повітря» досліджено можливості існуючих програмних засобів щодо їх потенційного використання для визначення та аналізу ЕЕПУР. Встановлено, що всі вони не містять модулю визначення ЕЕПУР та мають ряд недоліків (обмежений функціонал щодо моделювання забруднення АП, оцінювання відповідних ризиків, аналізу та візуалізації даних, є занадто дорогими, не мають можливості інтеграції зі стороннім програмним забезпеченням тощо), а тому їх недоцільно використовувати для вирішення даної задачі.

Розроблено структурну модель визначення та аналізу ЕЕПУР в контексті охорони АП, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу (рис. 6):

- 1) модуль введення основних параметрів множини УР;
- 2) модуль вибору додаткових складових ЕЕПУР згідно (17), в якому також здійснюється введення необхідних відповідних параметрів УР;

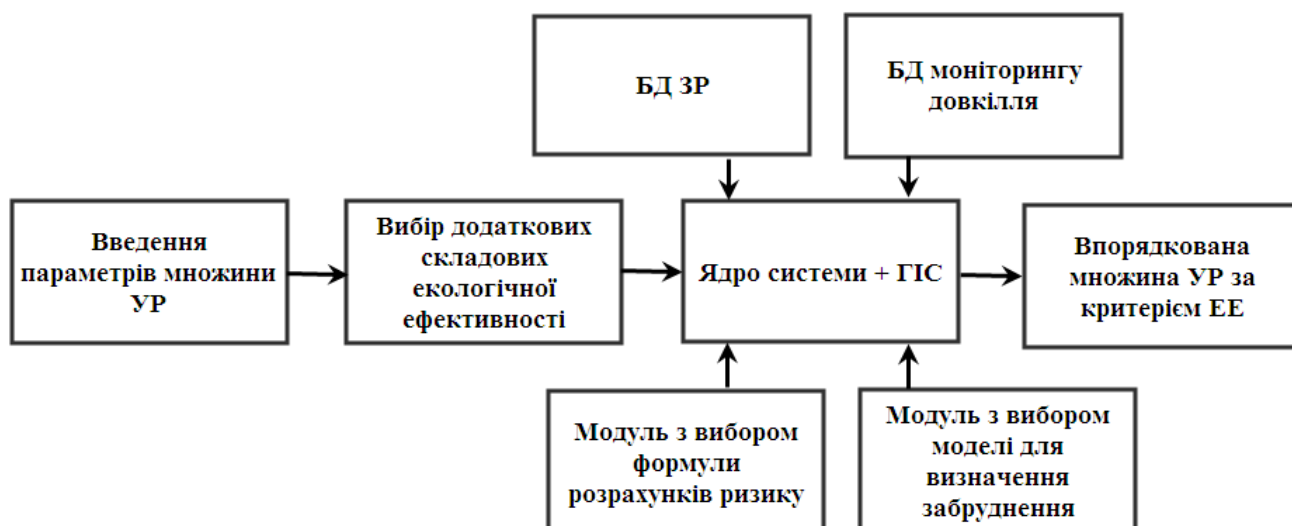


Рис. 6. Структурна модель визначення та аналізу ЕЕПУР в контексті охорони АП

- 3) база даних (БД) ЗР, в якій міститься інформація про основні ЗР АП (назва,  $ГДК_{СД}$ ,  $ГДК_{МР}$ , коефіцієнти  $\beta$  і  $K_3$  для обчислення ризику хронічної інтоксикації та параметри  $a$  і  $b$  для ризику миттєвих токсичних ефектів тощо);
- 4) БД моніторингу довкілля, в якій зберігається інформація про проведені спостереження за станом АП (дата, час, пост/координати, ЗР, результат вимірювання концентрації ЗР тощо), дані про існуючі пости спостережень мережі моніторингу стану АП;
- 5) модуль з вибором формули для розрахунків ризику, в якому за основу взято вирази для визначення ризику хронічної інтоксикації (6) та ризику миттєвих токсичних ефектів (12);
- 6) модуль з вибором математичної моделі для визначення розподілу забруднення АП, в якому для кожної конкретної множини УР та досліджуваного об'єкту обирається відповідна модель забруднення АП;
- 7) модуль ядра системи та ГІС (геоінформаційна система) об'єднує модулі, описані в п. 2–6, і забезпечує визначення ЕЕПУР для кожного УР із введеної множини з п. 1 та візуалізацію результатів обчислень у вигляді графіків, діаграм, карт забруднення/ризиків тощо;
- 8) модуль виведення впорядкованої множини УР за критерієм ЕЕ.

На основі даної структурної моделі розроблено відповідне програмне забезпечення для визначення та аналізу ЕЕПУР в енергетичному секторі в контексті охорони АП. Зокрема, дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану АП та ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі (рис. 7). Такий інструментарій в багатьох випадках є необхідним при формуванні множини альтернативних УР (зокрема, для

виявлення потенційних НС для їх попередження), а також при попередньому аналізі їх екологічної ефективності.

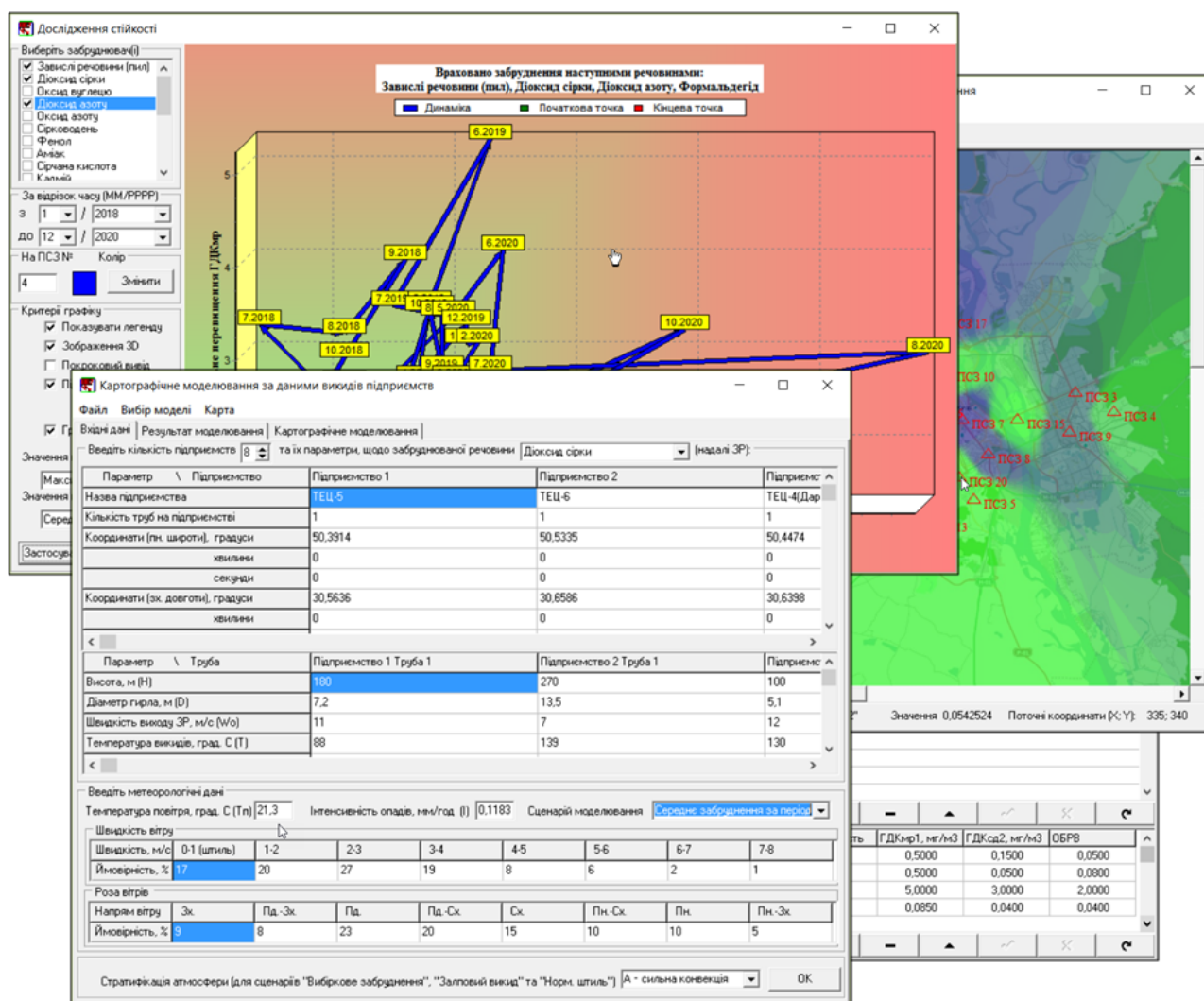


Рис. 7. Приклади роботи розробленого програмного забезпечення

У п'ятому розділі «Методичне забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря» визначено недоліки державної системи моніторингу стану АП в контексті визначення ЕЕПУР (недостатність постів спостереження, їх моральна застарілість, низька частота вимірювань, незадовільний рівень автоматизації тощо) та запропоновано шляхи її вдосконалення. Розроблено теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення ЕЕПУР, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території.

Постановка задачі розміщення сенсорів системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту має вигляд: необхідно обрати  $t$  з  $T$  маршрутів громадського транспорту так, щоб інформаційна корисність



отриманої системи була максимальною. Функція цілі  $F$ , що максимізує загальну інформаційну корисність системи контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту, має вигляд:

$$F = F(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot b_{ij} \cdot g_{ij}(X) \rightarrow \max, \quad (19)$$

де:  $m \times n$  – розмірність матриць після розбиття досліджуваної території (найчастіше міста) на  $m \times n$  квадратів;  $A$  та  $B$  – матриці врахування керованих змінних та опису території;  $g_{ij}(A)$  – інформаційна корисність проведення спостережень на даній території  $(i, j)$ .

Керовані змінні є бінарними та визначаються наступним чином:

$$x_v = \begin{cases} 1, & \text{якщо на маршрут } v \text{ встановлюється сенсорний вузол;} \\ 0, & \text{в інших випадках, } v = \overline{1, T}. \end{cases} \quad (20)$$

Допоміжна змінна визначається як:

$$w_{ijv} = \begin{cases} 0, & \text{маршрут } v \text{ не має зупинок в квадраті } (i, j); \\ 1, & \text{маршрут } v \text{ має зупинку в квадраті } (i, j), i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}, v = \overline{1, T}. \end{cases} \quad (21)$$

Матриці врахування керованих змінних та опису території:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \sum_{v=1}^T x_v w_{ijv} \geq 1; \\ 0, & \text{в інших випадках;} \end{cases} \quad (22)$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо квадрат } (i, j) \text{ належить території міста;} \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (23)$$

Обмеження на кількість маршрутів має вигляд:

$$\sum_{v=1}^T x_v \leq t. \quad (24)$$

Аналіз даної задачі показав, що вона є детермінованою бінарною нелінійною задачею динамічного програмування умовної оптимізації на неопуклій або незв'язній області. Розроблено методи вирішення поставленої задачі, що базуються на використанні генетичного алгоритму, для генерації початкової популяції та методу мутації якого використовується, окрім стандартних підходів, жадібний алгоритм з різними модифікаціями, для яких введено показник загальної інформаційної цінності  $h_v$  маршруту  $v$ :

$$h_v = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot w_{ijv}. \quad (25)$$

Розроблено спеціалізоване програмне забезпечення, що дозволяє за сприйнятливий час розв'язувати відповідні задачі (19)–(25) для великих міст зі значною кількістю маршрутів громадського транспорту. На рис. 8 показано приклад результату роботи програмного забезпечення при вирішенні задачі визначення 12 маршрутів різного типу громадського транспорту м. Києва, на які найбільш доцільно встановити сенсори системи контролю якості повітря для отримання максимальної інформативності за заданих умов та обмежень.

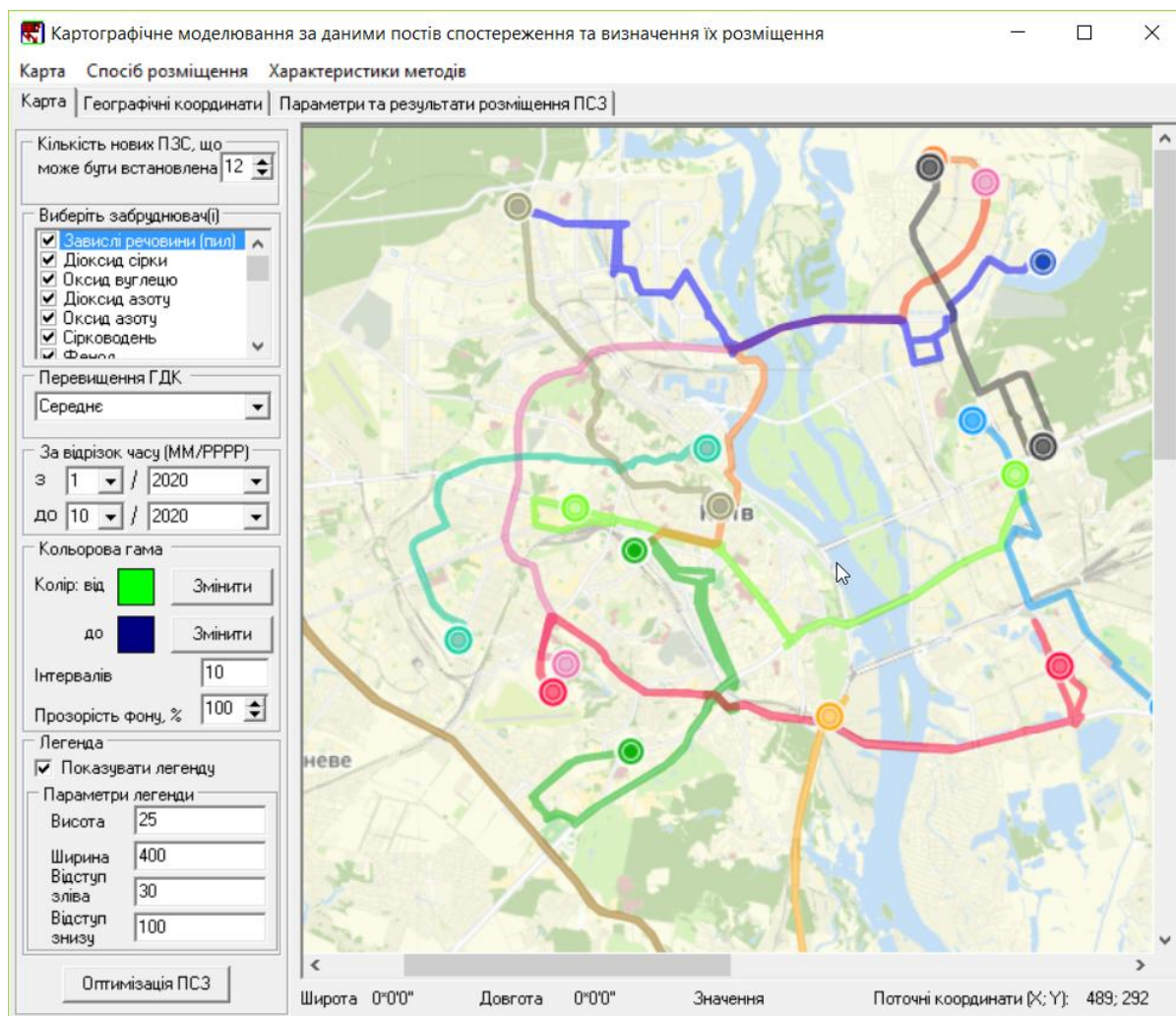


Рис. 8. Приклад вирішення задачі (19)–(25)

У випадку необхідності враховувати функції бажаності  $UQ$  (15)–(16) при визначенні ЕЕПУР потрібно використовувати різні методики для оцінювання обсягів викидів ЗР в АП від енергетичних установок. Серед таких нормативно затверджених методик в результаті аналізу виділено галузевий керівний документ (ГКД) 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення», який встановлює порядок визначення викидів основних ЗР та парникових газів, що надходять в АП з димовими газами, які утворюються під час спалювання органічного палива в енергетичних установках. На основі даної методики вдосконалено підхід до визначення викидів ЗР в АП від енергетичних установок за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо).

У шостому розділі «Рекомендації щодо впровадження та подальшого використання отриманих результатів» запропоновано варіанти застосування та впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження в галузі екологічної безпеки.

Розроблені та запропоновані в роботі концепція та математичні засоби, що реалізовані у вигляді відповідного програмного забезпечення, дозволяють здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності УР для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих УР (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

Виділено наступні практичні задачі, для яких доцільно використовувати розроблені та отримані в роботі засоби визначення та аналізу ЕЕПУР на прикладі охорони АП:

- 1) вибір проекту для будівництва відповідних генеруючих потужностей;
- 2) вибір місця для їх будівництва (рис. 9а);
- 3) вибір об'єкту відповідних генеруючих потужностей (чи інших стаціонарних джерел забруднення АП) для встановлення визначеного газоочисного устаткування (рис. 9б);
- 4) вибір газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей (рис. 9в);
- 5) вибір проекту щодо зміни типу палива на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей (рис. 9г);
- 6) вибір проекту для проведення модернізації на визначеному об'єкті відповідних генеруючих потужностей;
- 7) вибір заходів щодо запобігання аварій (підготовки до реагування на них, підвищення кваліфікації відповідних фахівців тощо);
- 8) комбінації задач 1–2, 3–4 тощо.

Для даних практичних задач розроблено рекомендації щодо виду оціночної функції (17), визначення її коефіцієнтів та наведено приклади вирішення ряду таких задач.

З врахуванням сучасних міжнародних вимог до управління в сфері енергетики розвинуто підходи до підготовки висококваліфікованих кадрів енергетичних об'єктів, а саме фахівців та управлінців в галузі екології та охорони навколишнього природного середовища, на основі використання запропонованого математичного і програмного забезпечення для визначення та аналізу ЕЕПУР та імерсивних технологій. Застосування таких засобів у навчанні та підвищенні кваліфікації вищезазначених кадрів дозволить їм швидко та на високому рівні оволодіти знаннями і практичними навичками щодо: оцінювання та аналізу рівня забруднення АП на території розміщення техногенних об'єктів; виявлення прихованих тенденцій та закономірностей на основі моніторингових даних; розроблення ефективних методів та засобів попередження НС, пов'язаних із забрудненням АП; як наслідок, формування та аналізу управлінських рішень щодо їх екологічної ефективності.



Рис. 9. Візуальне представлення практичних задач, для яких доцільно використовувати розроблені та отримані в роботі засоби

## ВИСНОВКИ

В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря, розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів. В результаті виконання роботи отримано наступні висновки:

1. Аналіз сучасних наукових підходів щодо визначення екологічної ефективності показав, що, по-перше, існують різні тлумачення терміну «екологічна ефективність», які значно відрізняються за суттю та змістом між собою та мають абстрактний характер, що, фактично, не дозволяє математично формалізувати визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. А, по-друге, мають низку недоліків, оскільки вони не враховують ряд важливих аспектів управлінських рішень: часову тривалість, площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; можливість одночасно призводити до сприятливих та несприятливих змін в довкіллі, становити не лише прямий, а й опосередкований вплив тощо.

2. Розроблено концепцію визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що враховує: можливість управлінського рішення одночасно призводити до несприятливих та сприятливих змін в довкіллі; його прямий та опосередкований вплив на довкілля, зокрема щодо зміни ризику виникнення надзвичайних ситуацій; часову тривалість дії ефекту від управлінського рішення; площу, значимість, екологічний стан та кількість населення території, на яку воно впливає; вплив управлінського рішення на

виконання нормативних вимог та зобов'язань. Запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень».

3. Розроблено математичні засоби для визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, що включають адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності.

4. Розроблено структурну модель визначення та аналізу екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті охорони атмосферного повітря, що включає необхідні блоки програмного забезпечення для реалізації запропонованих методів аналізу. На її основі розроблено відповідне програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати обґрунтований вибір найкращого з точки зору екологічної ефективності управлінського рішення для виконання (наприклад, щодо будівництва генеруючих потужностей теплових електростанцій та інших потужностей для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, їх модернізації, зміни типу палива), а також здійснювати перевірку доцільності подальшого виконання раніше прийнятих управлінських рішень (наприклад, в якості контролю природоохоронного ефекту).

5. Розроблено теоретико-методологічний підхід для побудови систем контролю якості повітря на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень, який, на відміну від існуючих, дозволяє визначати маршрути пересувних постів в залежності від техногенних, екологічних, соціально-економічних чинників, рівня та наслідків забруднення атмосфери і актуальних задач моніторингу для конкретної мережі/території. Використання та впровадження даного підходу дозволить підвищити ефективність роботи системи моніторингу довкілля України для прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень та зменшити витрати на комплексний аналіз екологічного стану міста або регіону.

6. Для оцінки впливу золовідвалів на стан атмосферного повітря запропоновано використовувати закордонну методику розрахунку оцінки вітрової ерозії і пиління золовідвалів теплових електростанцій, для якої розроблено та використано метод уточнення коефіцієнтів, що дозволило зменшити середню похибку моделювання забруднення атмосферного повітря від пиління даних об'єктів з 23% до 14%. На основі удосконалених математичних засобів розроблено відповідне програмне забезпечення, що дає можливість екологічним службам визначати вплив місць зберігання відходів підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля та населення прилеглих територій при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень.

7. Для моделювання та прогнозування забруднення атмосферного повітря від викидів об'єктів енергетики при визначенні екологічної ефективності

прийняття управлінських рішень запропоновано використовувати комплекс моделей Попова О.О., як такі, що забезпечують високу точність моделювання для різних типів об'єктів та сценаріїв викидів. Для отримання мінімальної похибки моделювання вдосконалено методи ідентифікації параметрів відповідних моделей, а саме: запропоновано математичні засоби оцінки впливу похибки визначення параметрів моделей на результат моделювання, розроблено алгоритм зниження розмірності задачі та алгоритм розпаралелення обчислень, що дозволило значно скоротити час розв'язання задачі ідентифікації. Здійснено більш точну ідентифікацію параметрів ряду запропонованих моделей, що дозволило зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5% при визначенні екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря.

8. Для врахування виконання нормативних вимог та зобов'язань в рамках визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в енергетичному секторі в контексті охорони атмосферного повітря запропоновано використовувати методику ГКД 34.02.305-2002 «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення». Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок з використанням даної методики за рахунок включення до її відповідних пунктів інформації щодо неметанових летких органічних сполук та додавання в методику нових даних про деякі види палива (солома, лушпиння соняшника, гречки, відходи деревини, торф, штучні пальні гази тощо).

9. В результаті дослідження сучасних засобів аналізу та візуалізації даних дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану атмосферного повітря та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак, що дозволяє швидко візуально визначати аномалії розвитку екологічних процесів в просторі та часі, зокрема при формуванні множини альтернативних управлінських рішень, а також при попередньому аналізі їх екологічної ефективності.

10. Отримане в роботі математичне та програмне забезпечення дозволяє визначати та аналізувати екологічну ефективність прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря для обґрунтованого вибору місця та проекту для будівництва відповідних генеруючих потужностей, газоочисного устаткування для встановлення на визначеному об'єкті енергетики, заходів щодо запобігання аварій та підготовки до реагування на них тощо. Тому, можливими варіантами їх впровадження є: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна екологічна інспекція України, Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, ДСНС України, підприємства енергетичного комплексу, науково-технічні центри, що займаються проблематикою забруднення атмосферного повітря, заклади підготовки фахівців в галузі екологічної безпеки та інші організації, діяльність яких пов'язана з впливом (або його контролем) на довкілля, зокрема атмосферне повітря.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

## Монографії

1. **Артемчук В.О.**, Білан Т.Р., Блінов І.В. та ін. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики: монографія / за ред. А.О. Запорожця, Т.Р. Білан. Київ : ТОВ «Наш формат», 2017. 312 с. *ISBN 978-966-02-8331-2*.

2. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні та програмні засоби вирішення задач моніторингу атмосферного повітря техногенно-навантажених територій : монографія. Київ : ФОП Ямчинський, 2018. 116 с. *ISBN 978-617-7804-97-9*.

## Статті у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях, які індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science

3. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Концептуальні підходи створення інформаційно-аналітичної експертної системи для оцінки впливу АЕС на довкілля. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2018. № 3. С. 56–65. doi: 10.32918/nrs.2018.3(79).09 (*Scopus, ISSN 2073-6231*).

4. Яцишин А.В., Попов О.О., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Методика навчання майбутніх фахівців у галузі екології методам і засобам екологічного моніторингу приземного шару атмосфери. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2018. № 4. С. 217–230. doi: 10.33407/itlt.v66i4.2233 (*Web of Science, ISSN 2076-8184*).

5. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Аналіз можливих причин виникнення надзвичайних ситуацій на АЕС з метою мінімізації ризику їх виникнення. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 1. С. 75–80. doi: 10.32918/nrs.2019.1(81).13 (*Scopus, ISSN 2073-6231*).

6. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Зінов'єва І.С. Автоматизовані інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень у галузі екологічної безпеки. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 4. С. 286–305. doi:10.33407/itlt.v72i4.2 (*Web of Science, ISSN 2076-8184*).

7. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** та ін. Фізичні особливості розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі за умов надзвичайної ситуації на АЕС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 4. С. 88–98. doi: 10.32918/nrs.2019.4(84).11 (*Scopus, ISSN 2073-6231*).

8. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., **Artemchuk V.** et al. Risk Assessment for the Population of Kyiv, Ukraine as a Result of Atmospheric Air Pollution. *Journal of Health and Pollution*. 2020. Vol. 10(25). 200303. doi: 10.5696/2156-9614-10.25.200303 (*Scopus, Web of Science, ISSN 2156-9614*).

9. Iatsyshyn Anna V., Kovach V.O., Romanenko Ye.O., Deinega I.I., Iatsyshyn Andrii V., Popov O.O., Kutsan Yu.G., **Artemchuk V.O.**, Burov O.Yu., Lytvynova S.H. Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of new technological era. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020. Vol. 2547. P. 181–200. <http://ceur-ws.org/Vol-2547/paper14.pdf> (*Scopus, Web of Science, ISSN 1613-0073*).

10. Iatsyshyn A., **Artemchuk V.**, Zaporozhets A., Popov O., Kovach V. Mathematical Approaches for Determining the Level of Impact of Ash-Slag Dumps of Energy Facilities on the Environment. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020. Vol. 298. P. 1–13. doi: 10.1007/978-3-030-48583-2\_1 (*Scopus*, ISSN 2198-4182).

11. Iatsyshyn Andrii, Iatsyshyn Anna, **Artemchuk V.**, Kameneva I., Kovach V., Popov O. Software tools for tasks of sustainable development of environmental problems: peculiarities of programming and implementation in the specialists' preparation. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 01001. doi: 10.1051/e3sconf/202016601001 (*Scopus*, ISSN 2267-1242).

12. Maevsky O., **Artemchuk V.**, Brodsky Y., Makarenko L., Shpylovyi Y. A Conceptual Approach to the Development of Software Tools for the Analysis and Synthesis of Geophysical Monitoring Systems Models. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2021. Vol. 346. P. 333–345. doi: 10.1007/978-3-030-69189-9\_20 (*Scopus*, ISSN 2198-4182).

### Статті у наукових фахових виданнях України

13. **Артемчук В.О.** Аналіз архітектур систем моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 66. С. 3–9.

14. **Артемчук В.О.** Врахування характеристик сенсорів в задачі оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 65. С. 11–15.

15. **Артемчук В.О.** Дослідження існуючих безпроводних сенсорних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2012. Вип. 65. С. 3–9.

16. **Артемчук В.О.** Основні проблеми оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2012. № 64. С. 7–11.

17. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Використання інформаційних технологій в задачах управління екологічною безпекою. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2013. Вип. 2(41). С. 289–294.

18. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Побудова шкал для дослідження динаміки техногенних навантажень на атмосферне повітря міста. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 67. С. 11–17.

19. **Артемчук В.О.** Класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 67. С. 10–15.

20. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпроводних сенсорних мереж. *Моделювання та інформаційні технології*. 2013. Вип. 68. С. 48–56.



21. Криваковская Р.В., **Артемчук В.А.** Исследование влияния погрешностей отдельных факторов на погрешность моделирования распространения примесей в приземном слое атмосферы. *Электронное моделирование*. 2013. № 3. С. 49–63.

22. Каменева И.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.А.** Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга. *Электронное моделирование*. 2013. № 6. С. 99–114.

23. **Артемчук В.О.** Використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 68. С. 26–30.

24. **Артемчук В.О.** Перспективи використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану атмосферного повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2013. № 69. С. 34–39.

25. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Адаптація програмних засобів аналізу даних до задач дослідження стійкості територіальних систем. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 70. С. 3–10.

26. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Візуальні засоби моніторингу динаміки техногенних навантажень на приземне повітря. *Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 2014. № 71. С. 3–8.

27. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Методи вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2014. № 40(1083). С. 130–137.

28. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Кількісний аналіз стану довкілля на техногенно забруднених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 3–16.

29. **Артемчук В.О.** Оптимізація мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2014. Вип. 73. С. 27–35.

30. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.** Комп'ютерні засоби дослідження динаміки техногенних навантажень на урбанізовані території. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2015. Вип. 9. С. 27–36.

31. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Визначення стійкості геоекосистем регіону досліджень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2015. Вип. 75. С. 9–18.

32. Попов О.О. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Можливості використання експертних методів та систем для вирішення задач екологічної безпеки в зонах впливу АЕС. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2016. Вип. 25. С. 5–16.

33. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Модели представления и преобразования данных в задачах экологического мониторинга урбанизированных территорий. *Электронное моделирование*. 2016. № 2. С. 49–66.

34. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Алгоритмічні засоби побудови гібридної інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки. *Моделювання та інформаційні технології*. 2016. Вип. 76. С. 60–69.

35. Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Сучасні методи аналізу ризиків в задачах управління екологічною безпекою на техногенно забруднених територіях. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 10. С. 56–64.

36. Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Імовірнісна модель когнітивного аналізу даних моніторингу в задачах екологічної безпеки. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2016. Вип. 11. С. 57–66.

37. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Математичний підхід до визначення ризиків для населення урбанізованих територій від впливу техногенних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 79. С. 49–60.

38. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Специфика применения когнитивного анализа информации в задачах обеспечения экологической безопасности. *Электронное моделирование*. 2017. № 6. С. 107–124.

39. Куцан Ю.Г., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Сучасна методика визначення. *Моделювання та інформаційні технології*. 2017. Вип. 80. С. 11–19.

40. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В. Інтелектуальний аналіз даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 82. С. 48–52.

41. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В., Яцишин Т.М. Методичні та інформаційні засоби аналізу екологічних ризиків на основі даних моніторингу. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 83. С. 48–62.

42. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Краснов Є.Б., Куценко В.О. Проектування та розробка засобів візуалізації для розв'язання задач оцінки впливу нерадіаційних викидів АЕС України на атмосферне повітря та населення прилеглих територій. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 84. С. 55–65.

43. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О., Яцишин Т.М. Перспективи розробки математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Моделювання та інформаційні технології*. 2018. Вип. 85. С. 75–80.

44. Яцишин А.В., Матвеева І.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П. Особливості впливу золівдвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 2(28). С. 57–68.

45. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Принципи та методи управління екологічною безпекою на основі інтелектуального аналізу даних мережі моніторингу атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 4. С. 85–102.

46. Яцишин А.В., Куцан Ю.Г., **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Ковач В.О. Засоби інтелектуального аналізу та візуалізації геопросторових даних моніторингу стану атмосферного повітря. *Електронне моделювання*. 2019. № 5. С. 85–102.

47. Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Каменева І.П. Аналіз сучасних математичних засобів оцінки впливу місць зберігання золошлакових відходів теплоенергетики на екологічний стан прилеглих територій. *Техногенно-екологічна безпека*. 2019. № 6(2/2019). С. 24–29.

48. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Попов О.О., Яцишин А.В. Інформаційні системи та програмні засоби в галузі екологічної безпеки атмосферного повітря. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 86. С. 20–28.

49. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Розроблення математичної моделі забруднення атмосфери за умов довготривалих викидів потенційно-небезпечних джерел. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 89. С. 50–63.

50. Попов О.О. Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Куценко В.О. Математичні підходи вирішення задачі визначення раціональних місць розташування стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. Вип. 88. С. 156–163.

51. Кириленко Ю.О., Каменева І.П., Яцишин А.В., Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О. Аналіз засобів моделювання наслідків радіаційних аварій та інцидентів з розливом рідких радіоактивних середовищ. *Електронне моделювання*. 2020. № 4. С. 31–48.

52. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Ковач В.О., Яцишин Анна В., Туревич А.О., Куценко В.О. Вирішення оптимізаційної задачі розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря на техногенно-навантажених територіях України. *Геохімія техногенезу*. 2020. № 4(32)/2020. С. 86–95.

### **Тези та матеріали конференцій**

53. Каменева І.П., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Комп'ютерний аналіз даних моніторингу атмосферного повітря. *«Зелена» економіка: перспективи впровадження в Україні*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 24–25 квіт. 2012 р. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2012. Т. 1. С. 372–377.

54. Яцишин А.В., Каменева І.П., **Артемчук В.О.**, Попов О.О. Комп'ютерні засоби моделювання техногенних навантажень на урбанізовані території. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 27–31 трав. 2012 р. Херсон : ХНТУ, 2012. Т. 1. С. 239–241.

55. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Експертно-аналітичні технології аналізу ризиків від техногенних навантажень на атмосферне повітря. *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту*: зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., 20–24 трав. 2013 р. Херсон : ХНТУ, 2013. С. 39–41.

56. **Артемчук В.О.** Актуальні питання побудови сучасних мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 11–12 січ. 2013 р. Київ, 2013. С. 3.

57. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Впровадження європейських стандартів в державну систему моніторингу довкілля *Інформаційні управляючі системи та технології*: зб. матеріалів наук.-практ. конф. 23–25 верес. 2014 р. Одеса : «ВМВ», 2014. С. 299–301.

58. **Артемчук В.О.** Загальна постановка задачі оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIII Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15–16 січ. 2014 р. Київ, 2014. С. 33.

59. Попов О.О., **Артемчук В.О.** Вимоги до програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу АЕС України. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 16 квіт. 2015 р. Київ : НАУ, 2015. С. 58.

60. **Артемчук В.О.** Можливість використання GPS-орієнтованих сервісів при оптимізації мережі моніторингу стану атмосферного повітря *Інформаційні технології – 2015*: зб. тез доповідей ІІ Української конф. молодих науковців, 28–29 трав. 2015 р., Київ : Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2015. С. 99–101.

61. Яцишин Т.М., Попов О.О., **Артемчук В.О.** Розробка математичних засобів для вирішення задач екологічного моніторингу техногенних джерел забруднення. *Стратегія якості в промисленості и образованні*: сб. тр. XI междунар. конф., 1–5 июня 2015 г. Болгария, г. Варна : Технический университет-Варна, 2015. Т.1. С. 430–435.

62. Попов О.О., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Сметанін К.В. Побудова комплексних показників для оцінки стану навколишнього природного середовища в зонах впливу потенційно небезпечних об'єктів. *Збірник наукових праць з'їзду «V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю»*, 23–26 верес. 2015 р. Вінниця : ВНТУ, 2015. С. 30.

63. Лисиченко Г.В., Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Розробка комп'ютерної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря в зонах впливу техногенних об'єктів. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи*: зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., 4–6 лист. 2015 р. Львів : ЛДУБЖД, 2015. С. 211–214.

64. **Артемчук В.О.** Архітектура мережі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез XXXIV Щорічної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України*. 15 січня 2015 р., Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України 2015. С. 15.

65. **Артемчук В.О.** Загальна постановка та класифікація задач оптимізації мереж моніторингу стану атмосферного повітря. *Наука и образование: сб. тр. VII междунар. науч. конф., 27 февраля–6 марта 2015 г., г. Дубай (Объединенные Арабские Эмираты).* Хмельницький : ХНУ, 2015. С. 35–37.

66. **Артемчук В.О.,** Каменева І.П., Яцишин А.В. Етапи побудови гібридної інтелектуальної системи для задач екологічної безпеки. *МОДЕЛИРОВАНИЕ – 2016:* сб. тр. междунар. науч. конференции. Киев, 2016. С. 135–138.

67. **Артемчук В.О.** Засоби аналізу даних мережі моніторингу стану атмосферного повітря в задачах управління екологічною безпекою об'єктів енергетики. *Наукова молодь:* зб. матеріалів IV Всеукр. наук. конф. молодих учених / За заг. ред. Спіріна О.М., 15 груд. 2016 р. Київ, 2016. С. 129–138.

68. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.,** Ковач В.О. Спеціалізовані геоінформаційні програмні комплекси для розв'язання задач моніторингу довкілля на техногенно-навантажених територіях. *Екологічна безпека держави:* зб. матеріалів XI Всеукраїнської наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 20 квіт. 2017 р. Київ : НАУ, 2017. С. 72.

69. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.,** Ковач В.О. Інформаційно-аналітичні програмні засоби підтримки прийняття рішень у задачах комплексного екологічного моніторингу забруднених територій. *Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні:* зб. матеріалів I Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, 6–7 квіт. 2017 р. Київ : ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана», 2017. С. 161–162.

70. Popov O.O., Yatsyshyn A.V., **Artemchuk V.O.,** Kutsenko V.O. Decision Making Support System for Prevention of Emergencies on the Allocation Territory of Chemically Dangerous Objects. *Chemical and Radiation Safety: Problems and Solutions:* Materials of fifth international conference, May 24–26, 2017. Kyiv : SI «IEG of NAS of Ukraine», 2017. P. 42.

71. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.,** Алексєєва О.В. Підвищення рівня інформатизації системи моніторингу стану атмосферного повітря локального рівня України. *Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту:* зб. матеріалів Міжнар. наук. конф., с. залізний Порт, 22–26 трав. 2017 р. Херсон : ХНТУ, 2017. С. 212–214.

72. **Артемчук В.О.** Засоби забезпечення моніторингу стану атмосферного повітря на території впливу великих спалювальних установок. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку:* зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 12–18 березня 2018 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2018. С. 67–69.

73. **Артемчук В.О.,** Яцишин А.В. Структура системи інтелектуального аналізу даних в системі моніторингу стану атмосферного повітря. *Зб. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,* 16 травня 2018 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2018. С. 74–77.

74. **Артемчук В.А.**, Каменева І.П., Яцишин А.В. Проблема моделювання процесу прийняття рішень на основі аналізу і структуризації інформації. *МОДЕЛИРОВАНИЕ – 2018*: сб. тр. междунар. науч. конф. Киев, 2018. С. 90–93.

75. Яцишин А.В., **Артемчук В.О.** Законодавче забезпечення розробки інтелектуальної системи підтримки рішень для управління енергетичними об'єктами в контексті екологічної безпеки. *Наукова молодь – 2018*: зб. матеріалів V Всеукр. конф. молодих учених / за ред. Спіріна О.М. та Яцишин А.В., 16 листоп. 2018 р. Київ, 2018. С. 64–67.

76. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Доцільність розробки програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Перспективи розвитку управлінських систем у соціальній та економічній сферах України: теорія і практика*: зб. матеріалів II Всеукр. наук.-практ. інт.-конф., 27 листоп. 2018 р. Київ : КУБГ, 2018. С. 190–191.

77. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.** Чинники виникнення та заходи попередження надзвичайних ситуацій, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів. *Екологічна безпека держави*: тези доповідей XII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів, присвяченої пам'яті професора Я.І. Мовчана (з міжнародною участю), 19 квіт. 2018 р., Київ : НАУ, 2018. С. 77–78.

78. **Артемчук В.О.**, Яцишин А.В., Попов О.О., Кириленко Ю.О. Засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в контексті розробки Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 11–17 берез. 2019 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2019. С. 111–113.

79. **Артемчук В.О.**, Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Математичні і програмні засоби оцінки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень в рамках створення загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». *Зб. тез XXXVII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2019 р. Київ : ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 86–87.

80. Попов О.О., Яцишин А.В., Ковач В.О., **Артемчук В.О.**, Алексєєва О.В. Спеціалізовані комп'ютерні системи аналізу, моделювання та прогнозування стану атмосферного повітря на територіях розміщення об'єктів енергетики України. *Стратегія якості в промисловості і освіті*: зб. матеріалів XV Міжнар. конф., 3–6 черв. 2019 р. Болгарія, м. Варна : Технічний університет-Варна, 2019. С. 424–430.

81. **Artemchuk V.**, Kyrylenko Y., Iatsyshyn A., Popov O., Stanytsina V., Zinovieva I. Some issues of environmental effectiveness and monitoring in the field of atmospheric protection in Ukrainian legislation. *Perspectives of world science and*

*education*. Abstracts of the 2nd International scientific and practical conference. October 30–31, 2019. Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2019. P. 184–188.

82. **Артемчук В.О.**, Кириленко Ю.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Розробка математичних та програмних засобів перевірки екологічної ефективності прийняття управлінських рішень. *Безпека енергетики в епоху цифрової трансформації*: зб. матеріалів наук. конф., 20 груд. 2019 р. Київ: ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2019. С. 106–109.

83. **Артемчук В.О.**, Каменева І.П., Кириленко Ю.О., Ковач В.О., Попов О.О., Яцишин А.В. Рідкі радіоактивні середовища як потенційні джерела викиду. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 16–22 берез. 2020 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2020. С. 134–137.

84. Попов О.О., Яцишин А.В., **Артемчук В.О.**, Ковач В.О., Туревич А.О., Куценко В.О. Світовий досвід побудови системи моніторингу стану атмосферного повітря на базі рухомого складу громадського транспорту. *Зб. тез XXXVIII науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України*, 15 трав. 2020 р. Київ : ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, 2020. С. 91–94.

85. Яцишин А., Попов О., **Артемчук В.**, Ковач В., Яцишин Анна, Коваленко В. Перспективи розробки та впровадження математичних та програмних засобів визначення впливу місця зберігання відходів теплоенергетики. *Наукова молодь – 2020*: зб. матеріалів VIII Всеукр. наук. конф. молодих учених, 21 жовт. 2020 р. Київ, 2020. С. 135–138.

86. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Perspectives Of Development Modern Air Quality Monitoring System on the Basis of Public Transport Rolling Stock. *Modern Problems of Nature Protection and Sustainable Development*. Materials of the international scientific-practical conference, November 16, 2020. Semey, Kazakhstan, 2020. P. 147–150.

87. **Artemchuk V.**, Popov O., Iatsyshyn A. Development Actuality Of Modern Air Quality Monitoring System On The Basis Of Public Transport Rolling Stock. *Prospects Of Territorial Development: Theory And Practice*. Proceedings of the IV All-Ukrainian scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists, November 19–20, 2020, Kharkiv, Ukraine, 2020. P. 282–285.

88. Маєвський О.В., **Артемчук В.О.**, Бродський Ю.Б., Топольницький П.П. Розроблення комп'ютерних моделей керування кліматичними параметрами на локальному рівні. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., 15–21 березня 2021 р. Черкаси : Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, 2021. С. 132–133.

## АНОТАЦІЯ

**Артемчук В.О. Наукові основи визначення екологічної ефективності прийняття управлінських рішень на прикладі охорони атмосферного повітря.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

*Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.*

В дисертації сформульовано та вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку теорії визначення та аналізу екологічної ефективності (ЕЕ) прийняття управлінських рішень (УР) на прикладі охорони атмосферного повітря (АП), розроблення та вдосконалення відповідних математичних та програмних засобів. Розроблено концепцію визначення екологічної ефективності прийняття УР. Запропоновано визначення терміну «екологічна ефективність прийняття управлінських рішень». Розроблено систему визначення та аналізу ЕЕ прийняття УР, що включає адекватну оціночну функцію; визначення вагових коефіцієнтів; перехід від кількісних показників забруднення до ризиків для здоров'я населення; визначення інтегрального ризику зваженого на значення соціально-економічної цінності території з врахуванням її заселеності. Розроблено структурну модель визначення та аналізу ЕЕ прийняття УР в контексті охорони АП та відповідне програмне забезпечення. Розроблено теоретико-методологічний підхід та відповідні програмні засоби для побудови систем контролю якості АП на базі рухомого складу громадського транспорту в контексті інформаційного забезпечення визначення ЕЕ прийняття УР. На основі розробленого методу здійснено уточнення коефіцієнтів для визначення річного виносу золівих частинок золовідвалу, що дало можливість зменшити середню похибку моделювання впливу даних об'єктів на АП з 23% до 14%. Застосування вдосконалених в роботі методів ідентифікації дозволило більш точно визначити параметри моделей розповсюдження забруднюючих речовин в АП від викидів стаціонарних техногенних джерел (на прикладі м. Києва), що дало можливість зменшити середню похибку моделювання з 15% до 5% при визначенні ЕЕ прийняття УР в енергетичному секторі в контексті охорони АП. Вдосконалено підхід до визначення викидів забруднювальних речовин в АП від енергетичних установок з використанням методики ГКД 34.02.305-2002. Дістали подальшого розвитку форми представлення даних моніторингу стану АП та відповідних ризиків за рахунок відображення динаміки екологічної ситуації в просторі інформативних ознак. Запропоновано варіанти використання та впровадження отриманих в роботі засобів, зокрема на їх основі розвинені підходи до підготовки висококваліфікованих фахівців та управлінців в галузі екології та охорони навколишнього природного середовища.

**Ключові слова:** екологічна ефективність, прийняття управлінських рішень, екологічна безпека, забруднення атмосферного повітря, мережа моніторингу, математичні моделі, програмні засоби, ідентифікація параметрів, золошлаковідвали, підготовка фахівців в галузі екологічної безпеки.



## ABSTRACT

**Artemchuk V.O. Scientific bases of determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection.** – Qualified scientific work on the rights of the manuscript.

*The dissertation for a Doctor of Technical Sciences degree, specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.*

The actual scientific and applied problem of developing the theory of determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance on the example of air protection, and developing corresponding mathematical and software means is formulated and solved in the dissertation.

The concept of determining the environmental effectiveness of management decisions acceptance is developed that considers: the possibility of the managerial decision to lead simultaneously to adverse and favorable changes in the environment; its direct and indirect impact on the environment, in particular an option to change the risk of emergencies occurrence; the duration of the management decision effect; the area, significance, ecological and population condition of the affected territory; the impact of management decisions on compliance with regulatory requirements and obligations. The definition of the term "environmental effectiveness of management decisions acceptance" is proposed. Necessary terms in this area have been defined and partially supplemented.

A system for determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance, which includes an adequate evaluation function; determination of weights; transition from quantitative indicators of pollution to public health risks was developed as well as the determination of the integrated risk-weighted by the value of the socio-economic value of the territory, taking into account its population.

The structural model of determining and analyzing the environmental effectiveness of management decisions acceptance in the context of atmospheric air protection which includes necessary blocks of the corresponding software is developed. This software allows to make an informed choice of the best management decisions in terms of environmental effectiveness to implement (for example, the construction of generating capacity of thermal power plants and other facilities for electricity, steam, and hot water with a capacity of 50 megawatts or more using fossil fuels, their modernization, fuel type changes), as well as to verify the feasibility of further implementation of previously taken management decisions (for example, as a control of the environmental effect).

Theoretical and methodological approach to create air quality control systems based on public transport rolling stock in the context of information support for determining the environmental effectiveness of management decisions, which, in contrast to existing ones, allows to define the routes of mobile posts depending on technogenic, environmental, social-economic factors, level and consequences of air pollution and current monitoring tasks for a specific network/territory. This approach

can also be used to optimize existing and design new modern air monitoring networks, including their development by building air quality control systems based on public transport rolling stock.

The method of specification of coefficients for determination of annual removal of ash particles of an ash dump is offered, that allowed carrying out with higher accuracy modeling and forecasting influence of ash and slag dumps of the enterprises of a fuel and energy complex on a condition of atmospheric air pollution of adjacent territories. Proposed and improved mathematical and software tools for studying the migration of pollutants within the areas of ash and slag dumps and adjacent areas allow relevant services to determine the impact of waste storage facilities of the fuel and energy sector on the environment and the population of adjacent areas and effectively manage environmental safety in areas ash and slag dumps.

The methods of identification of parameters of models of the distribution of pollutants in atmospheric air from emissions of stationary technogenic sources are improved, namely: mathematical means of influence error estimation to define parameters of models on modeling result, the algorithm of problem dimension identification problem reduction. More accurate identification of the parameters of a number of relevant models was made, which allowed reducing the modeling error in determining the environmental effectiveness of management decisions in the energy sector in the context of air protection.

The approach to determine emissions of pollutants into the atmosphere from power plants using the methodology IGD 34.02.305-2002 was analyzed by including in its relevant items information on non-methane volatile organic compounds and adding to the methodology new data on some fuels (straw, husk) sunflower, buckwheat, wood waste, peat, artificial fuel gases, etc.). The expediency of using this methodology taking into account the implementation of regulatory requirements and obligations in determining the environmental effectiveness of management decisions in the energy sector in the context of air protection is substantiated.

The form of monitoring data presentation on technogenic loads and risks by reflecting the dynamics of the environmental situation in the space of informative features, which allowed to quickly visually identifying anomalies in the development of environmental processes got further development.

Approaches to the training of highly qualified specialists in the field of environmental safety through the introduction of immersive technologies and developed specialized software modules were further developed.

**Key words:** environmental effectiveness, management decisions, environmental improvement, environmental safety, air pollution, environmental monitoring, mathematical and software tools, parameter identification, ash and slag dumps, training of highly qualified specialists.