

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

БАРАБАШ ОЛЕНА ВАСИЛІВНА



УДК 504.064.3:574.2:65.012.32

**НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ БІОТЕСТУВАННЯ
ТА БІОІНДИКАЦІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ
БЕЗПЕКОЮ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
ХРУТЬБА Вікторія Олександрівна,
Національний транспортний університет,
завідувачка кафедри екології та безпеки
життєдіяльності.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ВОЛОШКІНА Олена Семенівна, Київський
національний університет будівництва і
архітектури, завідувачка кафедри охорони праці та
навколишнього середовища;

доктор технічних наук, професор
ДИЧКО Аліна Олегівна, Національний
технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
ТРИСНЮК Василь Миколайович, Інститут
телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України; завідувач відділу
досліджень навколишнього середовища.

Захист дисертації відбудеться «28» січня 2021 р., о 10 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, за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035 та на сайті www.dea.ua

Автореферат розіслано «28» грудня 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01



Т. Г. Іващенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Діяльність суб'єктів господарювання (СГ), скерована лише на короткострокову економічну стратегію отримання прибутків, стала однією з причин підвищення їх рівня екологічної небезпеки, що призвело до погіршення якості та ступеня збереження й відновлення екологічних властивостей природних компонентів довкілля. Тому, в умовах зростання техногенного тиску, одним з інструментів підвищення рівня екологічної безпеки суб'єктів господарювання є впровадження системи екологічного управління (СЕУ) відповідно до вимог ДСТУ ISO 14001:2015 для постійного поліпшування економічних, екологічних та соціальних показників, шляхом економії ресурсів, застосування природоохоронних технологій, підвищення кваліфікації та компетентності працівників для розширення ринків збуту продукції та послуг, збільшення прибутків від їх реалізації, а також для покращення якості довкілля. Незважаючи на закордонний досвід розроблень, постійне поліпшування систем екологічного управління та наявні наукові напрацювання вчених щодо концептуальних підходів до формування систем екологічного управління, зокрема В. Акуленка, І. Мамчука, Т. Галушкіної, Ю. Кушніра, С. Марової, В. Гассія, О. Сергієнка, О. Безбородової, Н. Вершиніна, Н. Пахомоваї, К. Ріхтера, М. Струкова, А. Хорошавіна та інших, в Україні, за даними International Organization for Standardization, показники динаміки впровадження системи екологічного управління є низькими, і лише 357 підприємств, що здійснюють діяльність у різних секторах економіки, одержали сертифікат її відповідності вимогам ДСТУ ISO 14001:2015.

Під час упровадження та функціонування СЕУ керівництво суб'єктів господарювання недостатньо уваги приділяє моніторинговим дослідженням, що негативно позначається на екологічній діяльності, рівні екологічної безпеки та організаційних змінах діяльності підприємств чи організацій. Відсутність контролю та експресних тестів на всіх етапах упровадження та функціонування СЕУ, які б надали інформацію про стан природних компонентів довкілля, ступінь збереження або відновлення їх екологічних властивостей, унеможливають вчасне проведення коригувальних заходів та призводять до невиконання зобов'язань і намірів, зазначених в екологічній політиці та програмі СЕУ, що позначається на ефективності функціонуючої системи екологічного управління та рівні загального розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

Тому, розвиток наукових основ забезпечення застосування методів біоіндикації та біотестування як додаткових методів моніторингу для контролю екологічної діяльності систем екологічного управління є актуальною проблемою, вирішення якої створює передумови підвищення рівня розвитку систем управління екологічною безпекою СГ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2030 року з розділу «Існуючі проблеми та сучасний стан довкілля в Україні», Закону України «Про Основні засади

(стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» і стратегічним напрямом Закону України «Про основи національної безпеки України». Робота виконувалась відповідно до плану наукових досліджень кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету і є складовою НДР «Удосконалення та розробка методів екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності» (№ ДР 0112U004448, 2013-2014 рр.), «Розроблення та удосконалення методів та способів підвищення екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності» (№ ДР 0115U002273, 2015–2017 рр.), «Обґрунтування застосування сучасних інноваційних підходів при розробці методів та способів підвищення рівня екологічної безпеки та безпеки людини» (№ ДР 0118U001109, 2018–2019 рр.), «Розробка рекомендацій щодо удосконалення системи природоохоронних дозволів в Україні для формування концепції єдиного екологічного дозволу» (№ ДР 0119U103190, 2019 р.), а також НДР «Наукове обґрунтування забезпечення екологічної безпеки об'єктів критичної інфраструктури м. Києва, що передбачають створення механізму визначення та оцінки рівня екологічної небезпеки цих споруд» (№ ДР 0120U103856, 2020 р.), у яких здобувач брала участь як виконавець.

Ідея роботи полягає у припущенні, що застосування методів біотестування та біоіндикації, як додаткових інструментів моніторингових досліджень під час розроблення, впровадження та функціонування СЕУ, дасть змогу отримувати інформацію про стан природних компонентів довкілля в межах впливу суб'єктів господарювання та визначати їх рівень екологічної безпеки.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є розроблення науково-методологічних положень, закономірностей та особливостей методів, моделей та методик вибору і застосування біотестування та біоіндикації для оцінювання стану природних компонентів довкілля щодо визначення рівня екологічної безпеки суб'єктів господарювання внаслідок організаційних змін діяльності під час упровадження системи екологічного управління.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

– проаналізувати проблеми та сучасний стан розроблення та впровадження систем управління екологічною безпекою підприємств і організацій в Україні та світі на підставі статистичних даних щодо динаміки підтвердження відповідності встановленим вимогам ДСТУ ISO 14001:2015 суб'єктами господарювання, які здійснюють діяльність у різних галузях економіки;

– обґрунтувати методологію, методи та методики теоретичних і експериментальних досліджень та доповнити науково-методичний апарат моніторингових досліджень методиками біотестування та біоіндикації як додатковими інструментами контролю екологічної діяльності та ефективності функціонування систем управління екологічною безпекою СГ;

– провести системний аналіз системи екологічного управління та декомпозицію контексту системи «Суб'єкт господарювання» і сформулювати концептуальні моделі її підсистем;

– розробити структурну модель і процедуру вибору та застосування управлінських підходів для ефективного функціонування СЕУ;

- запропонувати показники, які визначають механізм організації діяльності суб'єктів господарювання під час упровадження системи екологічного управління;

- розробити критерії контролю екологічної діяльності СЕУ для визначення рівня екологічної безпеки суб'єктів господарювання та оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою;

- провести експериментальні дослідження за допомогою методів біотестування та біоіндикації для виявлення реакції-відповіді організмів на стан забруднення природних компонентів та ступінь токсичного впливу внаслідок діяльності суб'єктів господарювання до та після впровадження систем екологічного управління;

- сформулювати метод визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ з урахуванням коефіцієнтів вагомості окремих чинників та групових показників для встановлення рівня екологічної безпеки суб'єктів господарювання;

- розробити систему показників, що характеризують рівень ефективності функціонування системи екологічного управління та запропонувати метод вибору типу системи екологічного управління за ефективністю функціонування в умовах невизначеності на основі теорії нечітких множин;

- розрахувати комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ з урахуванням коефіцієнтів вагомості окремих чинників та групових показників для визначення рівня екологічної безпеки СГ, що здійснюють діяльність в адміністративно-територіальних районах м. Києва;

- змодельовати рівень організаційних змін діяльності та визначити типи моделей системи екологічного управління за ефективністю функціонування для досліджуваних суб'єктів господарювання;

- визначити та оцінити рівень розвитку систем управління екологічною безпекою залежно від контролю екологічної діяльності та рівня організаційних змін діяльності СГ шляхом комп'ютерного моделювання.

Об'єкт дослідження – комплекс процесів у системах моніторингу для оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

Предмет дослідження – експресні методи моніторингу довкілля, зокрема біоіндикація та біотестування, для оцінювання стану природних компонентів довкілля під час функціонування систем екологічного управління суб'єктів господарювання, що в сукупності забезпечують розроблення ефективних управлінських рішень у сфері екологічної безпеки.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у дисертаційній роботі використано сучасні методи наукових досліджень: аналіз – при формулюванні наукової проблеми, узагальненні сучасних науково-технічних досягнень щодо впливу діяльності суб'єктів господарювання на природні компоненти довкілля та опрацюванні статистичних даних для визначення динаміки впровадження та функціонування систем екологічного управління; методи біоіндикації та біотестування – для оцінювання стану природних компонентів довкілля в межах санітарно-захисної зони суб'єктів

господарювання за реакцією-відповіддю – *Pinus sylvestris L.*; *Tilia cordata Mill.*; *Betula pendula Roth.* та тест-функцією – *Lepidium sativum L.*; *Daphnia magna Straus.*; фізико-хімічного аналізу – для встановлення кількісно-якісних характеристик атмосферного повітря, ґрунту, води та атмосферних опадів; системного аналізу – для аналізу системи екологічного управління та підсистем системи «Суб'єкт господарювання»; організаційно-розпорядчі – для вибору управлінського підходу на кожному етапі впровадження та функціонування системи екологічного управління; розрахунковий та математичний – для обробки результатів експериментальних досліджень; математичного та комп'ютерного моделювання – для формування комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ, розроблення системи прийняття рішень в умовах невизначеності, графічної інтерпретації та візуалізації рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

уперше:

- створено наукові засади застосування методів біотестування та біоіндикації, як додаткового інструменту моніторингових досліджень під час розроблення, впровадження та функціонування СЕУ, що дає змогу отримувати інформацію про стан природних компонентів довкілля в межах впливу суб'єктів господарювання, визначати рівень їх екологічної безпеки та є науковою основою в обґрунтуванні організаційно-управлінських рішень для ефективного функціонування СЕУ;

- розроблено системну модель системи екологічного управління, яка включає такі підсистеми, як «середовище суб'єкта господарювання», «організаційна структура та лідерство», «планування», «підтримування СЕУ», «виробництво» і дозволяє встановити вхідні та вихідні параметри відповідних процесів функціонування для визначення методів оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання;

- на підставі теоретичних узагальнень і результатів натурних досліджень встановлено доцільність застосування методів біотестування та біоіндикації для оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання та під час ідентифікації стану природних компонентів довкілля за реакцією-відповіддю біоіндикаторів та тест-систем на скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря суб'єктами господарювання в результаті впровадження систем екологічного управління;

- розроблено систему групових критеріїв контролю екологічної діяльності СЕУ, що включають груповий показник екологічної результативності, груповий показник ефективності управління та груповий показник екологічної дієвості (враховує узагальнюючі індикатори стану біосистем та якості довкілля) і дають можливість оцінити екологічну діяльність системи екологічного управління, спрямовану на покращення стану природних компонентів довкілля та рівень екологічної безпеки суб'єктів господарювання після її впровадження;

- запропоновано три типи моделей системи екологічного управління за ефективністю функціонування – *Environmentally hot*, *Environmentally cold*, *Environmentally soft*, що дає можливість суб'єктам господарювання

встановлювати рівень проведених організаційних змін діяльності під час впровадження СЕУ та застосовувати точкові коригувальні дії для усунення невідповідностей у системі «Суб'єкт господарювання» та її підсистемах;

удосконалено:

– теоретико-методологічний підхід для проведення моніторингових досліджень та експериментальних випробувань під час контролю екологічної діяльності системи екологічного управління, що на відміну від існуючих створило передумови застосування методів біоіндикації та біотестування для визначення стану біосистем у межах впливу діяльності СГ;

– контекст системи «Суб'єкт господарювання» як єдність трьох підсистем – «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля», що на відміну від існуючого доповнено моделями цих підсистем у взаємодії, які допомагають виявляти передумови впровадження систем екологічного управління та оцінювати рівень необхідних організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання;

– механізм організації діяльності СГ у вигляді структурної моделі застосування процедур на п'яти етапах розроблення, впровадження та функціонування СЕУ, що на відміну від існуючого включає контролювання показників екологічної результативності, екологічної дієвості та ефективності управління, а також дозволяє вийти за межі процесного підходу, скориставшись комбінацією управлінських підходів для власної траєкторії функціонування й розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єкта господарювання;

набуло подальшого розвитку:

– теоретико-методологічне оцінювання вибору та застосування комплексу управлінських підходів для кожного етапу впровадження та функціонування СЕУ, що на відміну від класичного процесного підходу оптимізувало процеси у підсистемі «Внутрішнє середовище» із застосуванням мотиваційного підходу та дозволило створити умови для розроблення процедур швидкого реагування на виявлені невідповідності у підсистемах «Довкілля» та «Внутрішні стейкхолдери» шляхом прийняття ефективних управлінських рішень на основі ситуаційного та кількісного підходів для підвищення рівня екологічної безпеки та організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання;

– науково-методологічний підхід до оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання, що на відміну від існуючих враховує контроль екологічної діяльності системи екологічного управління та рівень організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання;

– технологічні рішення з використанням агломеративного ієрархічного алгоритму класифікації за допомогою методу кластеризації для оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою, що на відміну від існуючих дало змогу сформулювати три кластери, що визначають оптимальний, середній та мінімальний рівні розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

Практичне значення і реалізація отриманих результатів

Побудовано алгоритм вибору та структурну модель реалізації управлінських підходів на всіх етапах розроблення, впровадження та

функціонування систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання для їх оптимального рівня розвитку.

Розроблено метод визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ СГ із врахуванням експертних висновків щодо вагомості групових показників, що надало можливість:

а) контролювати екологічну діяльність СЕУ за запропонованими груповими показниками екологічної результативності, ефективності управління та екологічної дієвості, які є ознакою налагодженого механізму організації діяльності суб'єктів господарювання під час функціонування СЕУ;

б) визначити рівень екологічної безпеки суб'єктів господарювання за комплексним критерієм контролю екологічної діяльності СЕУ.

Розроблено метод вибору типу моделі системи екологічного управління за ефективністю функціонування на основі системи визначників в умовах невизначеності, що дало змогу на підставі теорії нечітких множин:

- виявити ступінь досягнення СГ екологічних зобов'язань та обов'язкових для дотримання відповідності вимог ДСТУ ISO 14001:2015;
- визначити рівень організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання в результаті впровадження системи екологічного управління;
- визначити тип СЕУ за ефективністю функціонування;
- оцінити рівень розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання за організаційними змінами діяльності суб'єктів господарювання та контролем екологічної діяльності СЕУ.

Результати роботи використані ТОВ «Промекопроект» (довідка про впровадження від 12.01.2020 р.); ТОВ «Проектно-екологічний консалтинг» (довідка про впровадження від 17.11.2019 р.); ТОВ «НВП ВАЛСА-ГТВ» (довідка про впровадження від 25.09.2019 р.); Департаментом екології та природних ресурсів Київської обласної державної адміністрації (довідка про впровадження від 30.01.2020 р. № 06.2-02.2-09/811); Національним транспортним університетом (довідка про впровадження від 14.01.2020 р. № 109/01).

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечуються відповідністю поставлених завдань обраній методології, методикам досліджень і теоретичною послідовністю. Обґрунтованість основних результатів дослідження засвідчується публікаціями у наукометричних, вітчизняних та закордонних фахових виданнях, а також представленням їх на конференціях. Дослідження забезпечувалось відтворюваністю результатів експериментів, застосуванням обчислювальної математики з використанням програмних комплексів *MatLab* та *Process Modeler (ERwin)*, репрезентативною вибіркою експериментальних зразків, а також шляхом порівняння теоретичних положень із результатами експериментальних досліджень.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому реалізовано авторське бачення наукових основ застосування методів біотестування та біоіндикації в системах управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання. В роботі прослідковується закономірність застосування методів біотестування та

біоіндикації як додаткових інструментів моніторингових досліджень для визначення показника екологічної дієвості, який знаходиться у складі комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ, що дозволило встановити рівень екологічної безпеки СГ та стан розвитку системи управління екологічною безпекою. Авторка брала безпосередню участь у проведенні польових, лабораторно-аналітичних та камеральних досліджень. Також було виконано статистично-математичне оброблення даних, побудовано математичні моделі та здійснено кластерний аналіз для інтерактивної багатокритеріальної оптимізації оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою. Висновки та положення, викладені у тексті роботи, отримані авторкою самостійно.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, запропонованих в дисертаційній роботі, наведено в наукових працях, поданих у списку публікацій в авторефераті [1 – 57].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на: LXIV-LXXVI науково-практичних конференціях науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (м. Київ, 2006–2020 рр.); науково-практичній конференції, приуроченій 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича (м. Київ, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти розвитку природничих дисциплін» (м. Полтава, 2014 р.); Міжнародному екологічному форумі «Екологічна політика: між кризами та реформами» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку» (м. Івано-Франківськ, 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення» (м. Дрогобич, 2016 р.); XV Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (м. Мінськ, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Природнича освіта і наука для сталого розвитку України: проблеми і перспективи» (м. Глухів, 2017 р.); International Scientific Conference «Human health: Realities and prospects» (Czenstochova – Drohobych, 2018 р.); VII Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2019), (м. Вінниця, 2019 р.); XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 2019 р.); Інтернет-конференції «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку / ТЕБ-2019» (м. Ірпінь, 2019 р.); XV International scientific-practical conference «Mathematical modeling and simulacion of systems Mods'2020» (Chernihiv, 2020).

Публікації. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 31 наукову роботу у вітчизняних, наукометричних та закордонних виданнях, серед них 1 монографія та 1 розділ у зарубіжній колективній монографії; 32 статті, зокрема 23 – у фахових виданнях з переліку МОН України, 4 статті – у виданнях іноземних держав, 14 статей – у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, серед яких 1 стаття індексується у Scopus, 2

посібника, 29 тез доповідей у збірниках доповідей на наукових конференціях та з'їздах, 3 свідоцтва авторського права на твір.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали дисертації викладено на 450 сторінках друкованого тексту. Список використаних джерел містить 465 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність, визначено ідею, мету дисертаційної роботи, завдання, об'єкт і предмет досліджень, сформульовано наукову новизну отриманих результатів, наведено особистий внесок авторки та апробацію результатів роботи.

Перший розділ присвячено огляду й аналізу праць вітчизняних та закордонних учених щодо аналізу стану науково-технічних досягнень із питань та підходів збалансованого розвитку, впливу діяльності суб'єктів господарювання на стан довкілля та шляхів підвищення їх рівня екологічної безпеки. У результаті аналізу наукових робіт виявлено таке: деталізовано теоретичні основи збалансованого розвитку суспільства, які декларують новий імператив для наступного покоління з огляду на політичну, економічну та соціальну складові (В. Шевчук, Л. Мельник, Б. Буркинський, В. Непийвода, А. Вебер, Б. Данилишин, Л. Шостак, С. Дорогунцов, С. Сонько, E. Weizsaecker, A. Wijckman); визначено стратегічні цілі для переходу країн до збалансованого розвитку та підвищення рівня екологічної безпеки для зменшення негативного впливу процесів урбанізації на довкілля (В. Шмандій, В. Ісаєнко, Є. Хлобистов, О. Заржицький, П. Фесянов, С. Іванюта, М. Мальований, Л. Пляцук); докладно вивчено еколого-економічну безпеку підприємств та вплив стаціонарних та пересувних джерел забруднення на довкілля (З. Живко, В. Матейчик, С. Маджд, Т. Дмитруха, Р. Жомирук, С. Колесніков, К. Казеев, В. Вальков, Д. Венісов, А. Курбатова, С. Костріков, В. Горлов, В. Хрутьба); розроблено принципи й концептуальні підходи до розроблення систем екологічного управління (І. Мамчук, Т. Галушкіна, Ю. Кушнір, В. Гасій, О. Сергієнко, О. Безбородова, Н. Вершинін, Н. Пахомова, А. Хорошавін); розроблено методи та методики моніторингу довкілля на локальному, місцевому та регіональному рівнях (G. Clarke, I. Franiel, E. Shadrina, Y. Volpert, З. Мамчур, С. Беспалова, О. Мелехова, Є. Сарапульцева, О. Крайнюков).

На підставі проаналізованих даних Міжнародної організації ISO (2007–2019) було визначено динаміку змін у впровадженні та функціонуванні СЕУ СГ в Україні та світі. Виявлено, що в Україні суб'єкти господарювання впроваджують систему екологічного управління неохоче, у більшості випадків вона є переважаною документообігом та існує автономно від загальної системи управління. Такі процеси є наслідком нерозуміння керівництва та робочої групи суттєвих вимог стандарту; низький рівень ефективності впроваджених СЕУ; брак професійних екологічних менеджерів на підприємствах та в регіонах; відсутність підходів до мотивації працівників; економічна нестабільність держави; недостатній рівень експресних

моніторингових досліджень, що не потребують складного та дорогого обладнання; відсутність чітких критеріїв для оцінювання ефективності та розвитку функціонуючої СЕУ.

Виходячи із проведеного аналізу наукових та практичних досягнень за даним напрямом і виявлених недоліків встановлено, що недостатньо уваги було приділено застосуванню експресних методів моніторингу довкілля, зокрема біоіндикації та біотестуванню для отримання інформації про стан природних компонентів довкілля в межах впливу СГ, а також для розроблення оціночних критеріїв та індикаторів, які б дали змогу провести наскрізний аналіз усіх організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання й оцінити траєкторію розвитку та тип СЕУ за ефективністю функціонування.

Тому, для оцінювання ефективності функціонування та розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання виникає необхідність у розробленні нових методів для контролю її екологічної діяльності та вибору типу за ефективністю функціонування, що потребує створення експресної системи моніторингу для визначення стану природних компонентів довкілля для швидкого коригування виявлених невідповідностей СЕУ.

На основі огляду літератури і проведеного аналізу стану питання сформульовані ідея, мета та завдання дисертаційного дослідження.

У результаті виконаного аналізу було вирішено перше завдання роботи.

У другому розділі роботи запропоновано методологічну схему дисертаційних досліджень, проведено системний аналіз СЕУ та розглянуто комплекс методів та методик для проведення досліджень з метою вирішення поставлених у роботі завдань.

Розроблена методологія наукових досліджень базується на створенні передумов для встановлення рівня екологічної безпеки та організаційних змін суб'єктів господарювання для оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою запропонованими методами, а саме: 1) визначення комплексного критерію екологічної діяльності СЕУ суб'єктів господарювання; 2) вибору типу моделі системи екологічного управління за ефективністю функціонування.

Структуру методології наукових досліджень показано на рис. 1.

Проведений системний аналіз системи екологічного управління дав змогу розробити її системну модель, яка включає підсистеми «середовище СГ», «організаційна структура та лідерство», «планування», «підтримування СЕУ»,

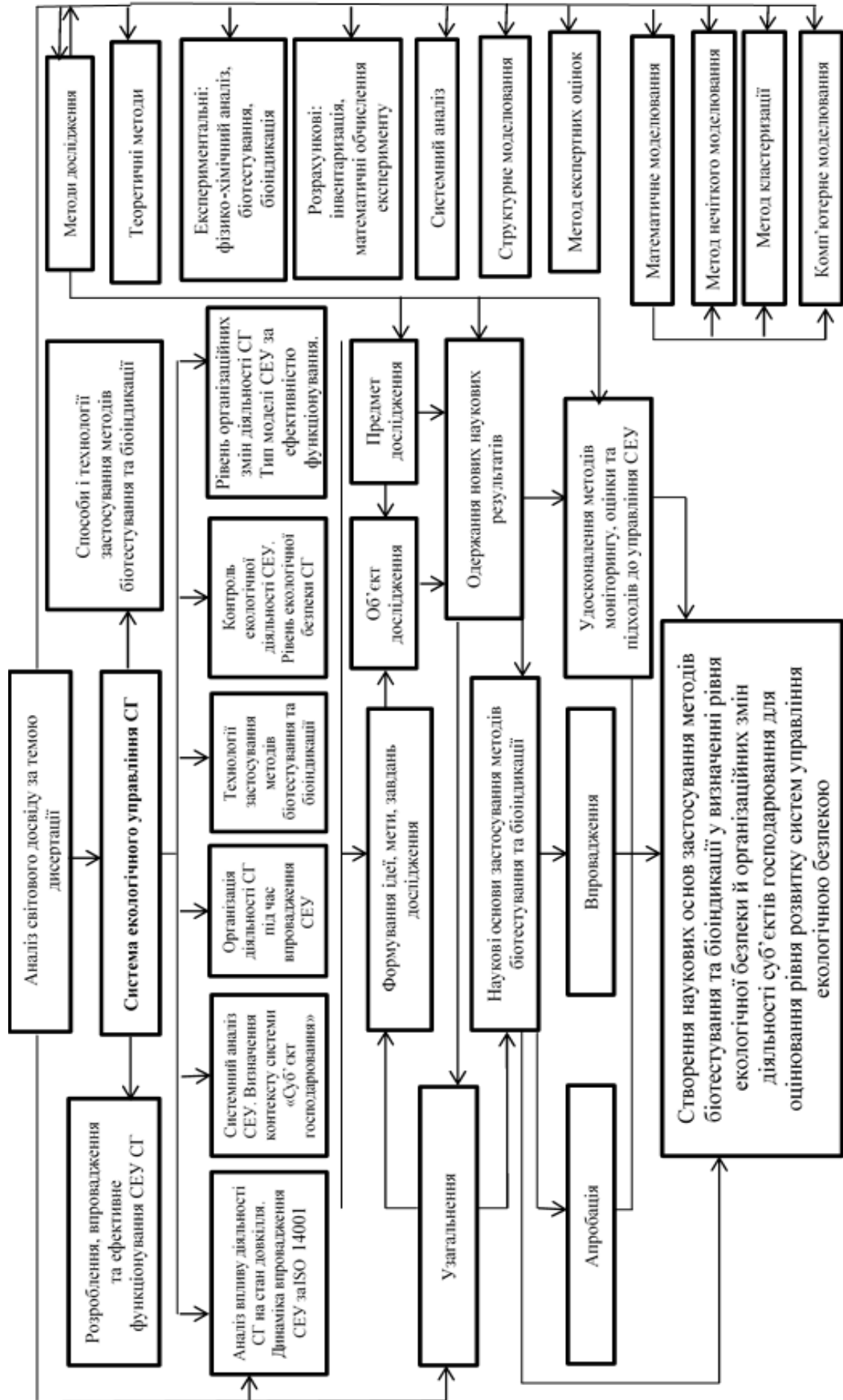


Рис. 1. Структура методології наукових досліджень

«виробництво», і встановити вхідні та вихідні параметри відповідних процесів функціонування, а також визначити методи для оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання (рис. 2).

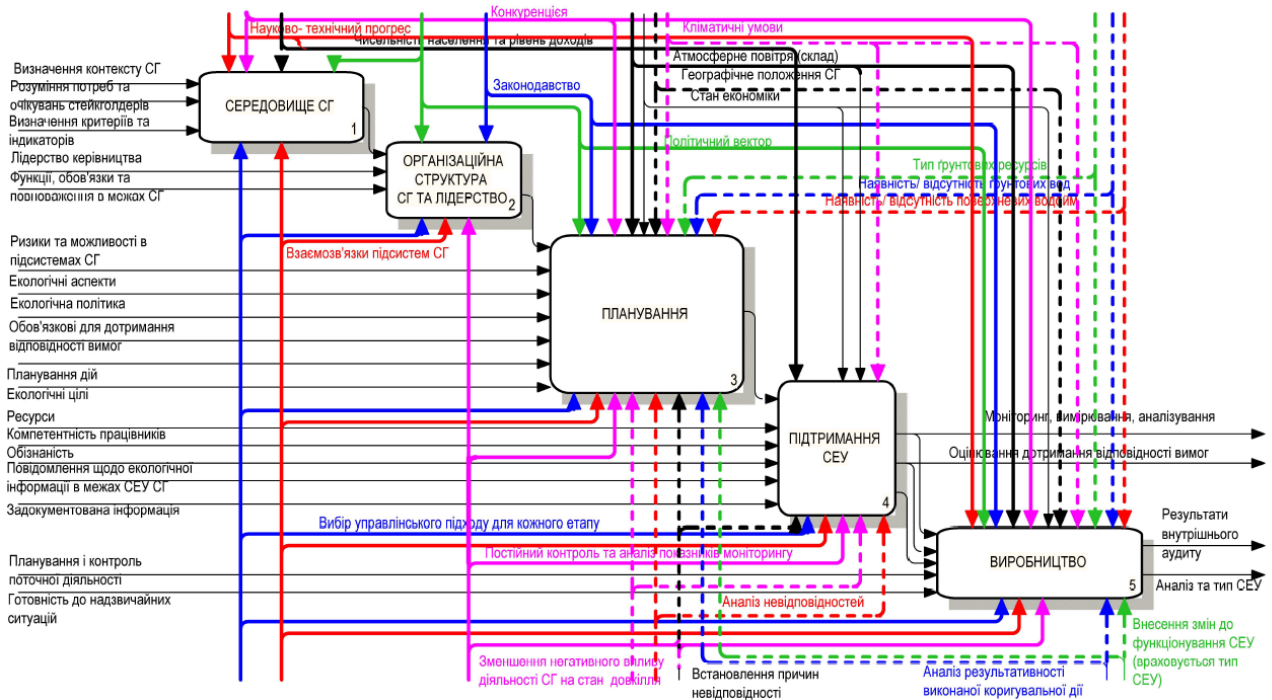


Рис. 2. Конструктивна схема для оцінювання рівня розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання

У розділі наведено методи та методика для проведення експериментальних досліджень.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дали можливість вирішити друге та третє завдання роботи.

Третій розділ присвячено вивченню організації діяльності СГ під час упровадження СЕУ методами системного аналізу. Також у цьому розділі проведено концептуальне моделювання та декомпозицію системи «Суб'єкт господарювання», запропоновано її структурну модель та процедуру вибору й застосування підходів до управління на кожному етапі розроблення, впровадження та функціонування СЕУ, сформовано метод визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ й оцінювання вагомості його групових показників, а також метод вибору типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування.

На підставі отриманих науково-технічних літературних даних проведено аналіз організації діяльності СГ і встановлено, що досліджені показники повною мірою не дозволяють оцінити функціональний стан та рівень розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання. Тому, запропоновано механізм організації діяльності СГ під час розроблення, впровадження та функціонування СЕУ розглядати за такими показниками: 1) *екологічна результативність* – показник рівня застосування природоохоронних заходів, спрямованих на підвищення екологічності виробництва, продукції та послуг СГ; 2) *ефективність управління* – показник

рівня розвитку комунікацій всередині та зовні СГ на основі застосування управлінських підходів та стратегічних документів; 3) *екологічна дієвість* – показник ступеня збереження та/або відновлення стану природних компонентів довкілля відповідно до стратегічних цілей та зобов'язань СГ.

За показниками механізму організації діяльності СГ під час розроблення, впровадження та функціонування СЕУ було запропоновано узагальнювальні показники, які визначають *ефективність функціонування системи екологічного управління* як досягнення поліпшування організації діяльності на всіх рівнях управління СГ та *розвиток системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання* як реалізацію встановлених зобов'язань щодо контролю екологічної діяльності та проведених організаційних змін СГ.

Результати проведених досліджень використано для аналізу контексту системи «Суб'єкт господарювання» та її підсистем: «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля».

Встановлено, що основою підсистеми «Внутрішнє середовище» є взаємодія управлінських структур та кадрового складу (рис. 3).

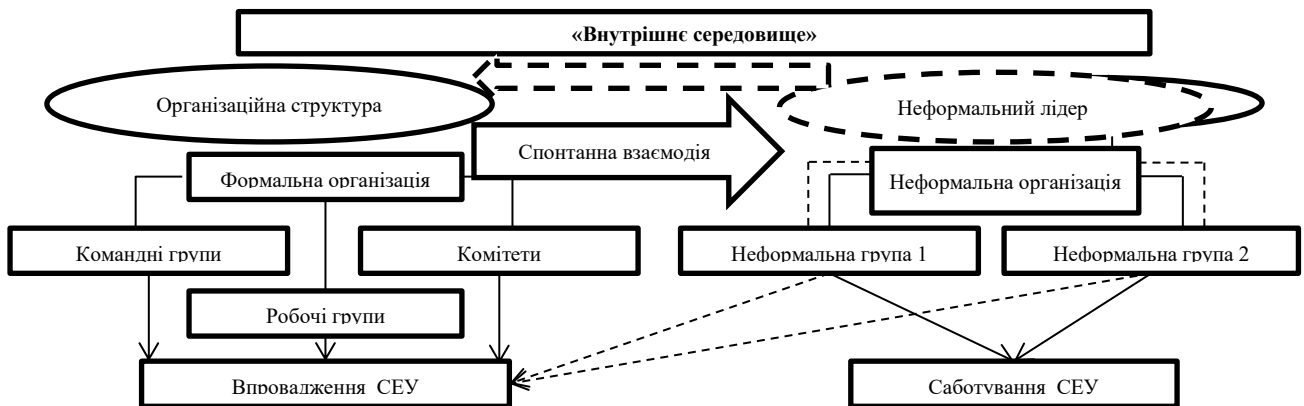


Рис. 3. Підсистема «Внутрішнє середовище»

Визначено, що елементи підсистеми «Зовнішні стейкхолдери» здійснюють прямий та опосередкований вплив на кожний з етапів розроблення, впровадження та функціонування СЕУ (рис. 4).

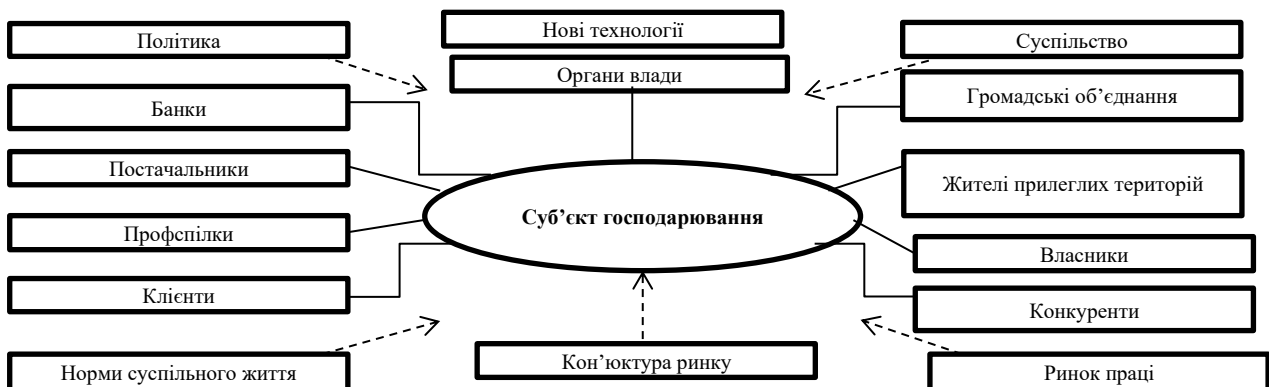


Рис. 4. Підсистема «Зовнішні стейкхолдери»

Встановлено, що підсистема «Довкілля» функціонує в безперервно діючому режимі, а її простір можна розділити за інтенсивністю й характером процесів масоенергоперенесення на ядро і буферну зону (рис. 5).

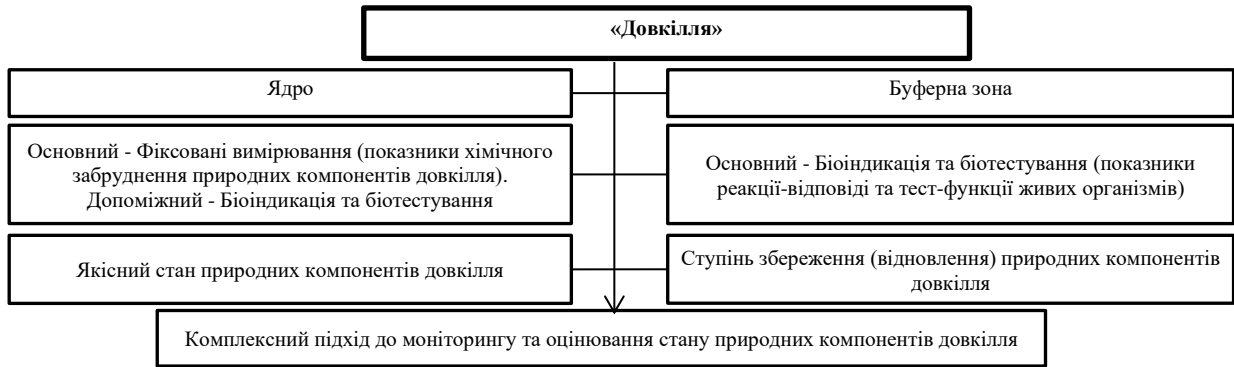


Рис. 5. Підсистема «Довкілля»

Визначений контекст системи «Суб'єкт господарювання» доповнено моделями підсистем «Внутрішнє середовище», «Зовнішні стейкхолдери» та «Довкілля» дав змогу виявити передумови впровадження СЕУ та оцінити рівень необхідних організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання.

За результатами моделювання розроблено процедуру вибору управлінського підходу для кожного етапу впровадження СЕУ. Особливість процедури полягає в можливості попередньої реалізації параметрів якості застосованого управлінського підходу та визначення його ефективності.

Запропонована процедура вибору управлінських підходів допомогла вийти за межі процесного підходу та сформуванню структурну модель їх застосування для кожного з п'яти етапів впровадження та функціонування СЕУ (рис. 6).

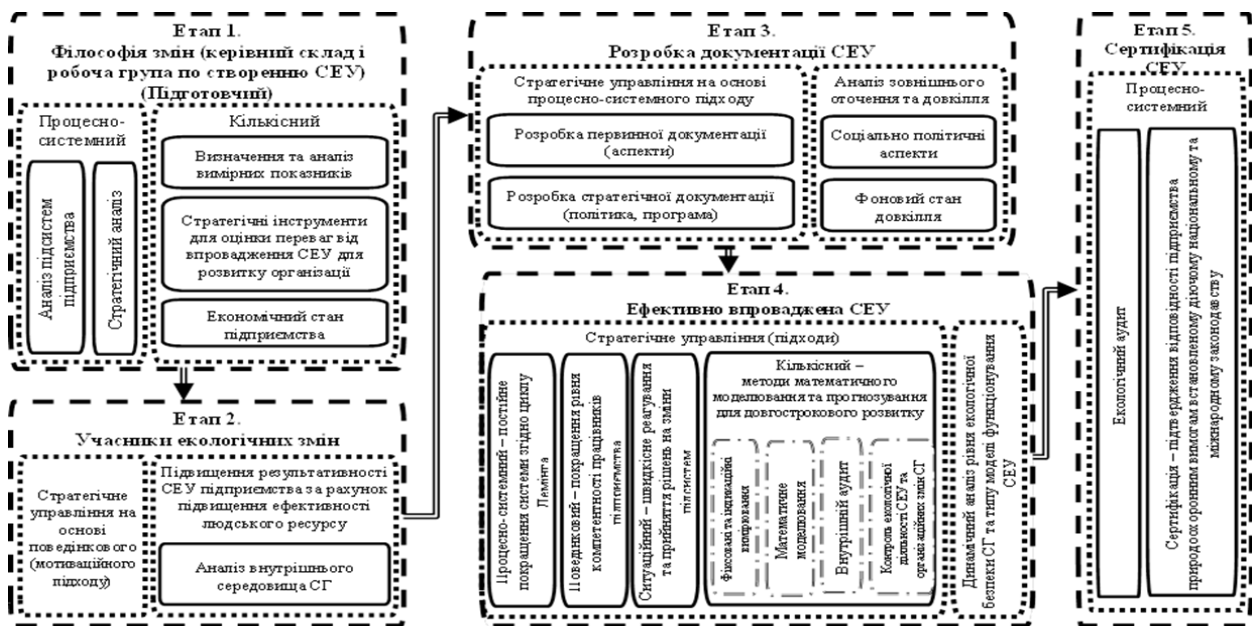


Рис. 6. Структурна модель застосування управлінських підходів на кожному етапі впровадження та функціонування СЕУ для підвищення рівня екологічної безпеки суб'єктів господарювання

Застосування необхідної комбінації управлінських підходів покращило траєкторію розвитку й ефективність функціонування системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання внаслідок оптимізації підсистем та елементів системи «Суб'єкт господарювання».

Впровадження СЕУ потребує розроблення критеріїв і показників, що дозволять за допомогою запропонованих методів оцінити рівень розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання (рис. 7).

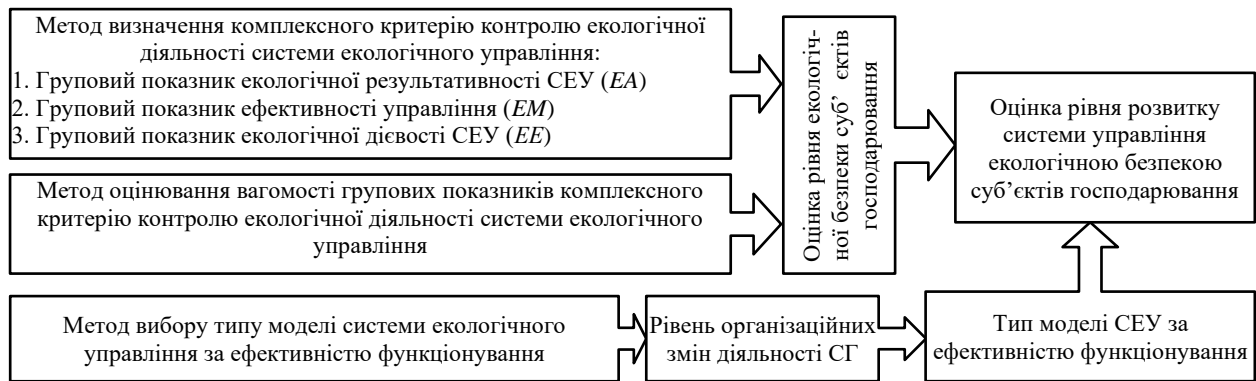


Рис. 7. Структура методології оцінювання рівня розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання

Враховуючи всі фактори впливу діяльності СГ на стан навколишнього середовища, було виокремлено групи чинників за характерними ознаками і сформовано базові шаблі розрахунку комплексного критерію контролю екологічної діяльності системи екологічного управління (рис. 8).

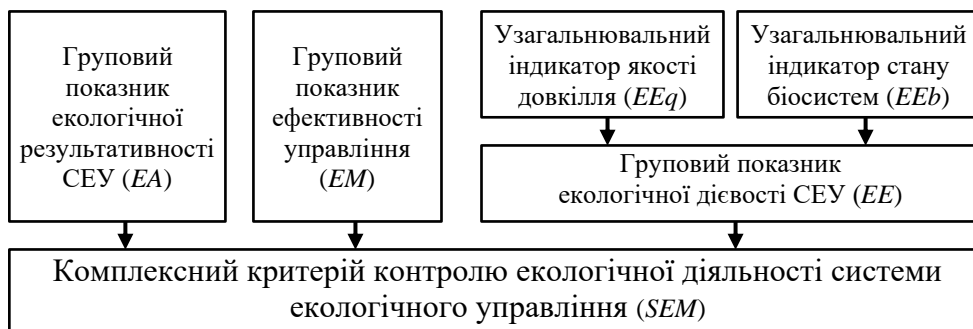


Рис. 8. Структура визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

Груповий показник екологічної результативності СЕУ (EA) характеризує екологічність продукції до та після впровадження СЕУ і має такий вигляд:

$$EA = \langle EA(R), EA(P), EA(S), EA(TE) \rangle, \quad (1)$$

де $EA(R)$ визначає екологічність сировини; $EA(P)$ визначає екологічність продукції у кількісному та відсотковому значенні; $EA(S)$ визначає екологічність постачання та перевезення продукції; $EA(TE)$ відповідає за екологічність технологій та обладнання СГ.

Груповий показник ефективності управління (EM) характеризує діяльність СГ, яка забезпечує виробничі процеси:

$$EM = \langle EM(A), EM(F), EM(D), EM(Per), EM(Ext) \rangle, \quad (2)$$

де $EM(A)$ визначає безпечність виробництва; $EM(F)$ характеризує фінансові потреби й витрати; $EM(D)$ індикатор відповідності документації СЕУ вимогам

ДСТУ ISO 14001:2015; $EM(Per)$ характеризує вплив персоналу на екологічність діяльності СГ; $EM(Ext)$ визначає вплив зовнішніх стейкхолдерів.

Груповий показник екологічної дієвості СЕУ (EE) базується на системі узагальнювальних індикаторів якості довкілля (EEq) та стану біосистем (EEb):

$$EE = \begin{cases} EEq \\ EEb \end{cases} = \begin{cases} \langle EEq(Air), EEq(W), EEq(pH), EEq(Was) \rangle \\ \langle EEb(RA), EEb(ND), EEb(GT), EEb(SD), EEb(QW) \rangle \end{cases}, \quad (3)$$

де $EEq(Air)$ визначає потужність викиду забруднювальних речовин та потенційний ризик здоров'ю населення при комплексному впливі декількох домішок, що надходять в атмосферне повітря; $EEq(W)$ характеризує рівень сумарного ризику від впливу всіх домішок, що потрапляють у водне середовище, використання води та кислотність водних об'єктів; $EEq(pH)$ характеризує рН атмосферних опадів та ґрунту; $EEq(Was)$ характеризує загальний показник утворення відходів суб'єктами господарювання; $EEb(RA)$ характеризує пилове забруднення деревних насаджень та морфологічні зміни їх вегетативних органів; $EEb(ND)$ характеризує рівень некротичних пошкоджень листових пластинок деревних насаджень; $EEb(GT)$ характеризує фітотоксичний ефект ґрунтового покриву та атмосферних опадів; $EEb(SD)$ характеризує стабільність розвитку деревних насаджень; $EEb(QW)$ характеризує ступінь токсичності поверхневих вод.

Визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності системи екологічного управління (SEM) враховує експертну думку щодо вагомості групових показників та розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} SEM &= \alpha \cdot EA + \beta \cdot EM + \gamma \cdot EE = \\ &= \alpha \cdot EA + \beta \cdot EM + \gamma \cdot (\varphi_1 \cdot EEq + \varphi_2 \cdot EEb), \end{aligned} \quad (4)$$

де α, β, γ та φ_1, φ_2 – вагові коефіцієнти, які залежать від сфери діяльності СГ, базуються на експертній оцінці та задовольняють умови $\alpha + \beta + \gamma = 1$ та $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$.

На підставі отриманих даних, які формують комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ, сформовано шкалу оцінювання рівня екологічної безпеки суб'єкта господарювання.

Формування типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування базується на об'єднанні чинників, згрупованих за параметрами, що характеризують напрям організаційних змін діяльності СГ у вигляді ієрархічного дерева логічного виведення (рис. 9).

Для формування методу вибору типу моделі системи екологічного управління за ефективністю функціонування було проведено всебічний аналіз чинників, від яких залежить рівень організаційних змін діяльності СГ.

Значення факторів відповідності СЕУ до вимог ISO (M_1) та управління моніторингом довкілля відповідно до вимог ISO (M_2) визначають тип моделі СЕУ за ефективністю функціонування (M) і можуть бути подані у вигляді:

$$M_{SEM} = M_1 \cup M_2. \quad (5)$$

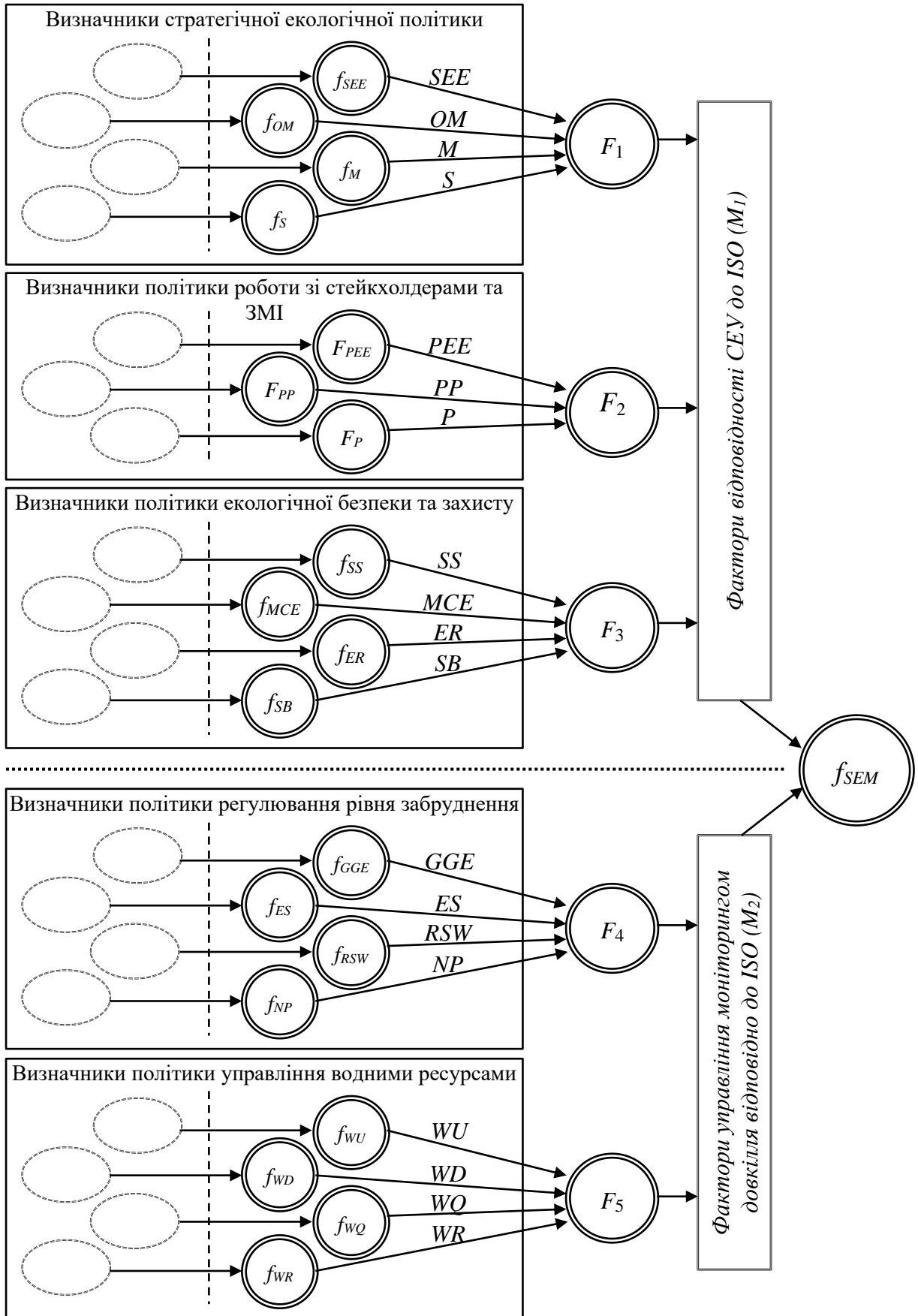


Рис. 9. Ієрархічне дерево логічного виведення рівня організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання відповідно до типу моделі CEУ за ефективністю функціонування

Аналіз нормативно-правової, статистичної, економічної документації СГ та міжнародних стандартів у сфері екологічного управління дозволив сформулювати п'ять структурних груп, що входять до складу факторів відповідності СЕУ до вимог ISO (M_1) та управління моніторингом довкілля згідно вимог ISO (M_2):

$$M_1 = f(F_1, F_2, F_3) \Rightarrow F_1 \cup F_2 \cup F_3 \text{ та } M_2 = f(F_4, F_5) \Rightarrow F_4 \cup F_5, \quad (6)$$

де F_1 – визначники стратегії екологічної політики; F_2 – визначники політики роботи зі стейкхолдерами та ЗМІ; F_3 – визначники політики екологічної безпеки та захисту; F_4 – визначники політики регулювання рівня забруднення; F_5 – визначники політики управління водними ресурсами.

Кожний відокремлений еколого-діяльнісний визначник складається з низки функцій окремих показників і може бути поданий у вигляді:

$$F_i = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_k) \Rightarrow Y_1 \cup Y_2 \cup \dots \cup Y_k, \quad (7)$$

де F_i – окремі групи визначників, що характеризують СЕУ СГ; Y_1, Y_2, \dots, Y_k – показники, які характеризують рівень функціонування СЕУ СГ.

За рівнем організаційних змін діяльності СГ проведено градацію суб'єктів господарювання за їх типами (табл.1).

Таблиця 1 – Тип моделі СЕУ за ефективністю функціонування відповідно до рівня організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання

№	Рівень організаційних змін діяльності СГ	Значення рівня організаційних змін діяльності СГ	Тип моделі СЕУ за ефективністю функціонування
1	Високий	71–100 %	Environmentally hot (екологічно гарячий тип)
2	Середній	31–70 %	Environmentally soft (екологічно ніжний тип)
3	Низький	1–30 %	Environmentally cold (екологічно холодний тип)

Отже, розроблений метод визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ для визначення рівня екологічної безпеки СГ та метод вибору типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування, залежно від рівня організаційних змін, дали змогу провести оцінювання рівня розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

Результати досліджень дали можливість вирішити четверте, п'яте та шосте завдання дослідження.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень із застосуванням методів біоіндикації та біотестування до та після впровадження СЕУ в межах впливу СГ, що здійснюють свою діяльність у різних галузях економіки на території адміністративно-територіальних районів м. Києва, що дозволило розрахувати узагальнювальний індикатор стану біосистем у складі комплексного критерію контролю екологічної діяльності системи екологічного управління.

Експериментально підтверджено, що зменшення викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин СГ у межах санітарно-захисної зони від 2 % до 10 % позначається на якості процесів розвитку *T. cordata* від 12 до 37 %, і є за

станом некротичних ушкоджень тканин вегетативних органів *T. cordata* ознакою покращення ґрунтового покриву та підземних вод (рис.10).

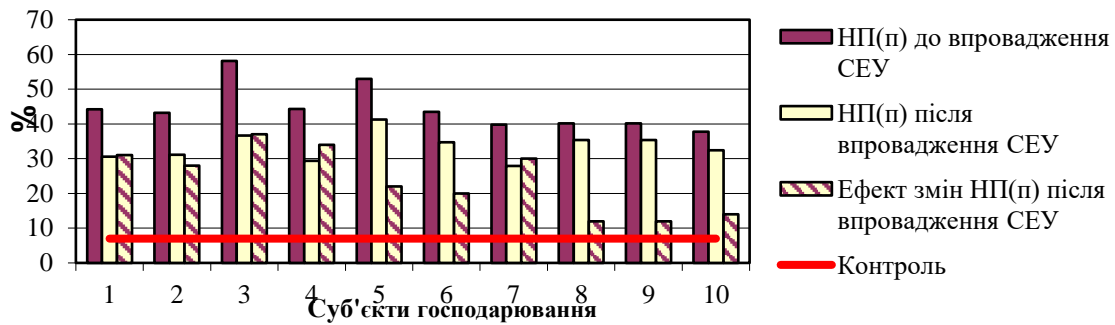


Рис. 10. Ефект некротичних пошкоджень до та після впровадження СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

Експериментально доведено, що зменшення СГ на 18 % викидів хлористого водню, сполук сірки та азоту після проведених організаційних змін діяльності привело до покращення стану природних компонентів довкілля, позначившись на реакції-відповіді *P. sylvestris* зменшенням некрозів та хлорозів до 25 % (рис. 11).

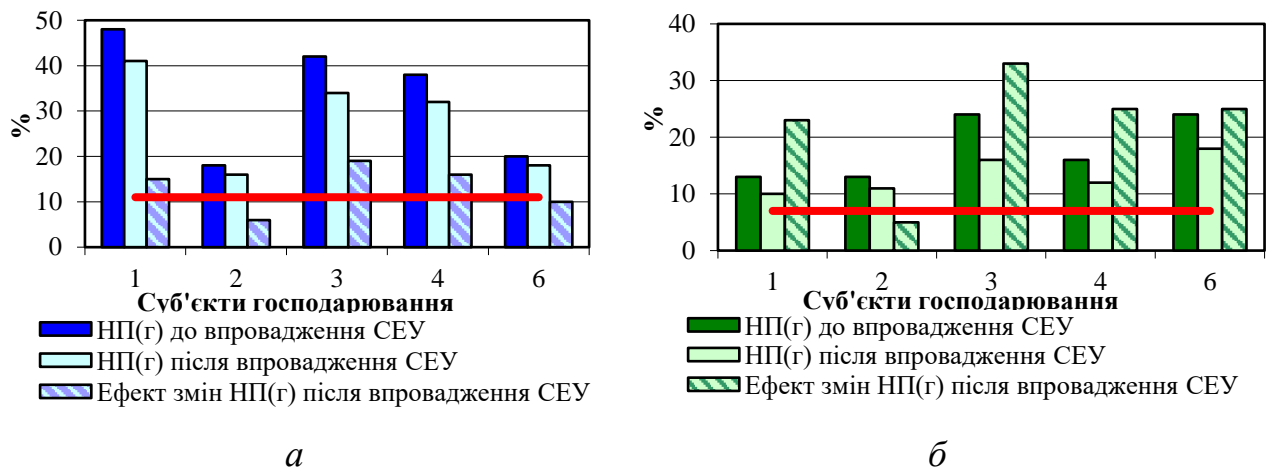


Рис. 11. Ефект зміни некротичних ушкоджень (а) та хлорозів (б) до та після впровадження СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

Експериментально доведено, що організаційні зміни діяльності суб'єктів господарювання під час упровадження СЕУ привели до скорочення викидів твердих частинок в атмосферне повітря від 3 до 21 %, що позначилось на вегетативному розвитку *T. cordata* збільшенням площі листкових пластинок від 4,3 до 5,72 см² та зменшенням їх пилового забруднення від 31 до 53 % (рис. 12).

Визначено, що скорочення потужності викидів забруднювальних речовин СГ від 11 до 24 % спричиняє зміни значення показника флуктуаційної асиметрії *V. pendula* з критичного до середнього рівня.

Експериментально доведено, що внаслідок кумулятивного ефекту ґрунту рівень його токсичності залежить від рівня токсичності атмосферних опадів. Зменшення викидів сполук металів у результаті виконання екологічної програми СЕУ досліджуваних СГ на 35 %, приводить до зменшення рівня біотоксичності атмосферних опадів на 73 % та ґрунтів на 62 % за реакцією *L. sativum* (рис. 13).

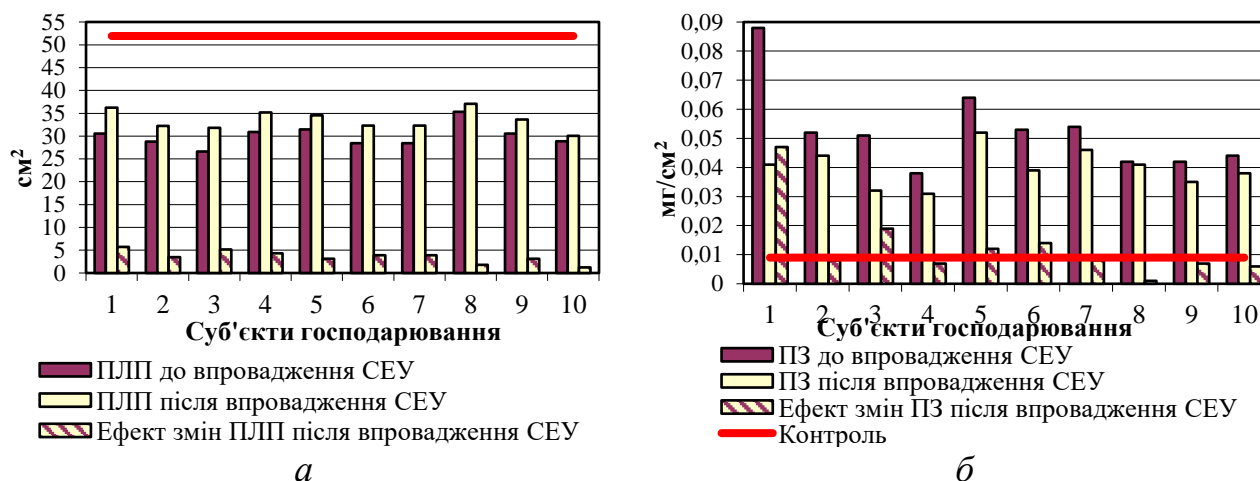


Рис. 12. Стан розвитку (а) та пилове забруднення (б) вегетативних органів *T. cordata* до та після впровадження СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

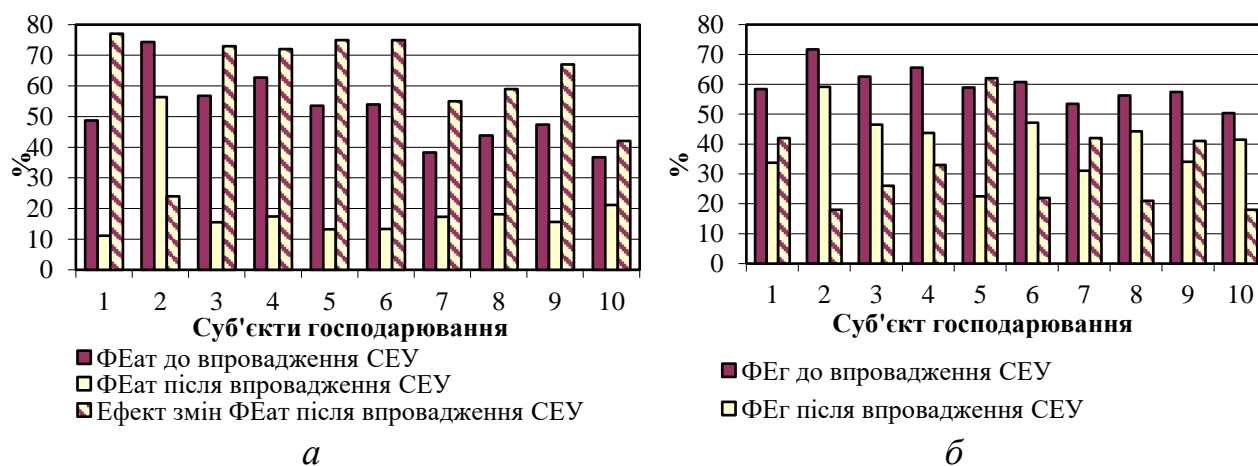


Рис. 13. Фітотоксичний ефект атмосферних опадів (а) та ґрунтового покриття (б) за тест-функцією *L. sativum* до та після впровадження СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

Експериментально підтверджено, що тест-об'єкт *D. magna* має високий ступінь чутливості до забруднення природних та штучних водойм повільного водообміну. Визначено, що водойми м. Києва, які знаходяться на рівновіддаленій відстані від досліджуваних СГ, є помірно токсичними.

Таким чином, дані інвентаризації викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря СГ у поєднанні з експресною оцінкою методами біоіндикації та біотестування реакції-відповіді рослинних організмів на хімічне забруднення в межах санітарно-захисної зони СГ, є ефективними для встановлення ступеня збереження та відновлення стану природних компонентів довкілля до та після впровадження СЕУ.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дали змогу вирішити сьоме завдання дослідження.

У п'ятому розділі проведено кількісне оцінювання показників контролю екологічної діяльності та ефективності функціонування систем управління екологічною безпекою.

Комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ сформовано з урахуванням значень показників, що характеризують механізм організації діяльності суб'єктів господарювання – екологічна результативність, ефективність управління та екологічна дієвість.

Аналіз показників до та після впровадження СЕУ, або даних останнього аудиту, здійснювався з урахуванням динаміки зміни даних (абсолютного відхилення) та напрямку цільової функції забезпечення контролю екологічної діяльності СЕУ СГ. Це допомогло оцінити переваги та негативний вплив діяльності суб'єктів господарювання на стан природних компонентів довкілля та ступінь їх збереження та/або відновлення.

Масштабування або нормування значень показників та динаміки їх змін дозволило узгодити їх між собою для проведення порівняльного аналізу та комплексного оцінювання:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Якщо } F_i \rightarrow \min, \text{ то } \Delta = X_n - X_k \\ \text{Якщо } F_i \rightarrow \max, \text{ то } \Delta = X_k - X_n \end{array} \right\}, \quad (8)$$

де F_i – цільова функція забезпечення контролю екологічної діяльності СЕУ СГ i -го показника системи; X_n – значення, отримане до впровадження СЕУ (початкове значення); X_k – значення, отримане після впровадження СЕУ (кінцеве значення).

Застосування нульового рівня під час нормування даних дослідження характеризує межі отриманого критерію в діапазоні $[0; 1]$. За нульовий (нейтральний) рівень обрано такий стан системи, коли зміни за дослідний період не відбуваються. Масштабування значень проводилося за правилом:

$$\Delta_i = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 + \frac{0,5 \cdot X_i}{\max_i(|\min_i|, |\max_i|)}, \quad \text{якщо } \Delta > 0 \\ 0,5, \quad \text{якщо } \Delta = 0 \\ 0,5 - \frac{0,5 \cdot X_i}{\max_i(|\min_i|, |\max_i|)}, \quad \text{якщо } \Delta < 0 \end{array} \right\}, \quad (9)$$

де Δ_i – динаміка зміни i -го показника; $\max_i(|\min_i|, |\max_i|)$ – максимальний рівень між абсолютними значеннями максимального та мінімального темпів зростання/спадання i -го показника. Рівні стану системи за комплексним критерієм контролю екологічної діяльності СЕУ наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Стан системи за комплексним критерієм контролю екологічної діяльності СЕУ для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

Рівень стану системи	Значення показника
Негативний	$[0; 0,4)$
Нульовий (нейтральний)	$[0,4; 0,7]$
Позитивний	$(0,7; 1,0]$

Оцінка групових показників для визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ визначається за формулою:

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n}, \quad (10)$$

де I_i – груповий показник окремих компонентів системи; n – загальна кількість чинників, що входять до складу групового показника.

Розрахунок групового показника екологічної результативності СЕУ (EA) базується на усередненні значень темпів зміни окремих груп, що входять до його складу з огляду впровадження нових технологій, обладнання і продукції та розраховується так:

$$EA = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} EA(R)_i + \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} EA(P)_i + \frac{1}{n_3} \cdot \sum_{i=1}^{n_3} EA(S)_i + \frac{1}{n_4} \cdot \sum_{i=1}^{n_4} EA(TE)_i \right), \quad (11)$$

тут EA – груповий показник екологічної результативності; n_1, n_2, n_3, n_4 – кількість чинників, що формують кожну групу ($n_1=4, n_2=4, n_3=3$ та $n_4=2$).

Груповий показник ефективності управління СЕУ (EM) є сукупністю чинників, що характеризують діяльність СГ щодо безпеки виробничих процесів та застосування мотиваційного підходу до працівників, і вираз охоплює усі усереднені чинники:

$$EM = \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} EM(A)_i + \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} EM(F)_i + \frac{1}{n_3} \cdot \sum_{i=1}^{n_3} EM(D)_i + \frac{1}{n_4} \cdot \sum_{i=1}^{n_4} EM(Per)_i + \frac{1}{n_5} \cdot \sum_{i=1}^{n_5} EM(Ext)_i \right), \quad (12)$$

де EM – груповий показник ефективності управління; n_1, n_2, n_3, n_4, n_5 – загальна кількість чинників, що формують кожну групу ($n_1=3, n_2=8, n_3=6, n_4=6$ та $n_5=3$).

Показники, які визначають вплив діяльності СГ на реакцію елементів підсистеми «Довкілля», складають груповий показник екологічної дієвості СЕУ, який складається з двох частин – узагальнюючий індикатор якості довкілля (EEq) та узагальнювальний індикатор стану біосистем (EEb). До складу узагальнювальних індикаторів групового показника екологічної дієвості СЕУ входять показники, які характеризуються не динамікою змін, а їх станом на момент спостереження. Тому для їх розрахунку були запроваджені такі правила:

– потенційний ризик здоров'ю населення при комплексному впливі декількох домішок:

$$EEq(R)_i = 1 - X_i \rightarrow 1; \quad (13)$$

$$X_i = Risk_{cum} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Risk_i), \quad (14)$$

де X_i ($Risk_{cum}$) – потенційний ризик комбінованого чи комплексного впливу домішок; $Risk_i$ – потенційний ризик впливу i -ої окремої домішки; n – загальна кількість домішок;

– загальна жорсткість, яка оцінюється відповідно до нормативного значення:

$$EEq(H) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \quad \text{якщо } H_{\text{екс}} \leq H_{\text{нор}} \\ \frac{H_{\text{нор}}}{H_{\text{екс}}}, \quad \text{якщо } pH_{\text{екс}} > pH_{\text{нор}} \end{array} \right\} \rightarrow 1, \quad (15)$$

де $H_{\text{екс}}$ – експериментальне значення жорсткості води, моль/л; $H_{\text{нор}}$ – нормативне значення жорсткості води, $H_{\text{нор}} \leq 6$ моль/л;

– кислотність середовища характеризується кратністю експериментальних значень до нормованого значення рН природного середовища:

$$EEq(pH)_i = \left\{ \begin{array}{l} \frac{pH_{\text{нор}}}{2pH_{\text{нор}} - pH_{\text{екс}}}, \quad \text{якщо } pH_{\text{екс}} < pH_{\text{нор}} \\ \frac{pH_{\text{нор}}}{pH_{\text{екс}}}, \quad \text{якщо } pH_{\text{екс}} > pH_{\text{нор}} \end{array} \right\} \rightarrow 1, \quad (16)$$

тут $EEq(pH)_i$ – кратність експериментального значення рН до та після провадження СЕУ; $pH_{\text{нор}}$ – нормоване значення рН.

Узагальнювальні індикатори якості довкілля та стану біосистем групового показника екологічної дієвості СЕУ (EE) визначаються так:

$$EEq = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} EEq(Air)_i + \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} EEq(W)_i + \frac{1}{n_3} \cdot \sum_{i=4}^{n_3} EEq(pH)_i + EEq(Was) \right); \quad (17)$$

$$EEb = \frac{1}{5} \left(\frac{1}{m_1} \cdot \sum_{i=1}^{m_1} EEb(RA)_i + \frac{1}{m_2} \cdot \sum_{i=1}^{m_2} EEb(ND)_i + \frac{1}{m_3} \cdot \sum_{i=4}^{m_3} EEb(GT)_i + EEb(SD) + EEb(QW) \right), \quad (18)$$

де n_1, n_2, n_3 та m_1, m_2, m_3 – кількість одиничних чинників, що входять до складу об'єднуючих показників ($n_1=2, n_2=4, n_3=2$ та $m_1=2, m_2=3, m_3=2$). Залежно від розташування та специфіки діяльності СГ не всі окремі об'єднуювальні показники можуть входити до складу узагальнювальних індикаторів.

Узагальнення результатів обчислення здійснювалося із застосуванням методу експертного оцінювання, що дало змогу визначити вагомість усіх складових комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ (SEM).

За результатами роботи компетентних експертів отримано дані ранжування та визначено коефіцієнти конкордації – 0,918 та 0,755, величина яких задовольняє умову $W \geq 0,5$, що свідчить про узгодженість думок експертів.

Комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ СГ розраховували за формулою:

$$\begin{aligned} SEM &= 0,3 \cdot EA + 0,3 \cdot EM + 0,4 \cdot EE = \\ &= 0,3 \cdot EA + 0,3 \cdot EM + 0,4 \cdot (0,55 \cdot EEq + 0,45 \cdot EEb) \end{aligned} \quad (19)$$

На підставі аналізу нормованих значень комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ (SEM) розроблено шкалу оцінки рівня екологічної безпеки СГ, які впровадили СЕУ (табл. 3).

Таблиця 3 – Рівень екологічної безпеки СГ за нормованим значенням комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ

№ з/п	Рівень екологічної безпеки СГ	Нормовані значення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ СГ (SEM)
1	Ефективний рівень	$0,9 < SEM \leq 1$
2	Високий рівень	$0,8 < SEM \leq 0,9$
3	Задовільний рівень	$0,65 < SEM \leq 0,8$
4	Низький рівень	$0,5 < SEM \leq 0,65$
5	Критичний рівень	$SEM \leq 0,5$

Нечітке моделювання організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання та вибір типу моделей СЕУ за ефективністю функціонування здійснювали з використанням пакета *MatLab* за алгоритмом Мамдані.

Щоб сформувані різні рівні моделі організаційних змін діяльності СГ, використовувався ряд функцій належності. Для перетворення лінгвістичних змінних як показників функціонування СЕУ СГ ($K_{i,j}$) на етапі фазифікації застосували трапецієподібну функцію належності (табл. 4).

Таблиця 4 – Характеристики лінгвістичних змінних на рівні показників ($K_{i,j}$)

№ з/п	Терми лінгвістичних змінних	Діапазон значень лінгвістичних змінних на універсальній множині [0;10]	Функція належності	Значення параметрів функції належності
1	Low (низький рівень)	[0;3]	Трапецієподібна (trmf)	[0 0 2 4]
2	Medium (середній рівень)	[4;7]		[2 4 6 8]
3	High (високий рівень)	[8;10]		[6 8 10 10]

Фазифікація на етапі визначення рівнів «показники–визначники», «визначники–фактори» та «фактори–організаційні зміни діяльності» є оберненою процедурою етапу дефазицізації попереднього рівня за допомогою таких функцій належності, як сигмоподібні та крива Гауса (табл. 5 та рис. 14).

Таблиця 5 – Характеристики лінгвістичних змінних на різних проміжних рівнях визначення типу моделі СЕУ за ефектністю функціонування

№ з/п	Терми лінгвістичних змінних	Діапазон значень терм лінгвістичних змінних на універсальній множині [0; 1]	Функція належності	Значення параметрів функції належності
1	Low (низький рівень)	[0;0,3)	Сигмоподібна (Z-функція) - zmf	[0,1; 0,4]
2	Medium (середній рівень)	[0,3;0,7)	Складена з двох кривих Гауса – gauss2mf	[0,1; 0,4; 0,1; 0,6]
3	High (високий рівень)	[0,7;1,0]	Сигмоподібна (S-функція) - smf	[0,6; 0,9]

Для вибору типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування методом нечіткого моделювання розраховано рівень організаційних змін діяльності СГ

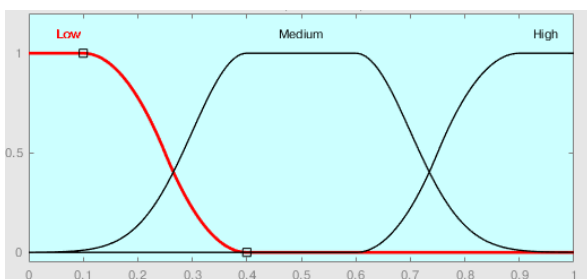


Рис. 14. Графічне зображення кривої Гауса та сигмоподібних функцій належності, за якими відбувається процес перетворення значень лінгвістичних змінних на різних проміжних рівнях

на універсальній множині $[0,100]$. Для аналізу показників, які визначають рівень організаційних змін діяльності СГ та побудови ієрархічних дерев логічного виведення, застосовувався стандартизований підхід станів лінгвістичних термів за лексичними значеннями: низький (Low), середній (Medium), високий (High).

Застосування нечіткого виведення на різних рівнях ієрархічного дерева проведено з урахуванням різних універсальних множин $[0;10] \rightarrow [0;1] \rightarrow [0;100]$. Нечітке виведення Мамдані виконувалося відповідно до сформованої бази знань, у яких кількість нечітких логічних висловлювань варіювалася у діапазоні від 9 до 81, залежно від кількості вхідних даних.

Нечіткі логічні рівняння отримують із нечітких логічних висловлювань, замінюючи терми лінгвістичних змінних відповідними функціями належності, а операції «і» та «або» – операціями знаходження мінімуму (\wedge) та максимуму (\vee) відповідно, і характеризують поверхню належності змінних за відповідними термами:

$$\mu_{Low}(Y_i) = (\mu_{Low}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Low}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{Low}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Medium}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{Medium}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Low}(K_{i,j+1})); \quad (20)$$

$$\mu_{Medium}(Y_i) = (\mu_{Low}(K_{i,j}) \wedge \mu_{High}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{High}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Low}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{Medium}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Medium}(K_{i,j+1})); \quad (21)$$

$$\mu_{High}(Y_i) = (\mu_{Medium}(K_{i,j}) \wedge \mu_{High}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{High}(K_{i,j}) \wedge \mu_{Medium}(K_{i,j+1})) \vee (\mu_{High}(K_{i,j}) \wedge \mu_{High}(K_{i,j+1})), \quad (22)$$

де $K_{i,j}$ та $K_{i,j+1}$ – вхідні параметри, що входять до складу показника, який досліджується; Y_i – вихідний параметр досліджуваного показника.

У результаті опрацювання правил, які формують базу знань нечіткого виведення та проведення операцій над нечіткими множинами, отримано значення рівня організаційних змін діяльності СГ, виражене чітким числом, що дозволило вибрати тип моделі СЕУ за ефективністю функціонування.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дали змогу вирішити восьме та дев'яте завдання.

У шостому розділі проведено попередній екологічний аналіз діяльності досліджуваних СГ для ідентифікації їх впливу на стан довкілля. На підставі експериментальних даних розраховано комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ та визначено рівень екологічної безпеки СГ після впровадження СЕУ. Визначено рівень організаційних змін діяльності досліджуваних СГ та встановлено тип впровадженої СЕУ за ефективністю функціонування. Проведено оцінювання та візуалізацію рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання за допомогою

кластеризації шляхом розподілу суб'єктів господарювання на групи за рівнем організаційних змін та контролем екологічної діяльності СЕУ.

Визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ (SEM) відбувалось шляхом аналізу показників екологічної результативності, ефективності управління та екологічної дієвості СЕУ, що дозволило визначити узагальнене нормоване значення та рівень екологічної безпеки СГ, які здійснюють різну за видами економічну діяльність у десяти адміністративно-територіальних районах м. Києва (табл. 6).

Таблиця 6 – Нормоване значення комплексного критерію контролю екологічної діяльності системи екологічного управління (SEM) для оцінювання рівня екологічної безпеки СГ

№	Район	Суб'єкт господарювання	Комплексний критерій контролю функціонування системи екологічного управління (SEM)	Рівень екологічної безпеки СГ
1 СГ	Голосіївський	Будівництво доріг та автострад	0,717	задовільний
2 СГ	Оболонський	Виробництво м'яса	0,692	задовільний
3 СГ	Шевченківський	Надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна	0,692	задовільний
4 СГ	Дарницький	Виробництво парфумних і косметичних засобів	0,802	високий
5 СГ	Дніпровський	Виробництво інструментів і обладнання для вимірювання, дослідження та навігації	0,690	задовільний
6 СГ	Деснянський	Пасажирський наземний транспорт міського та приміського сполучення	0,741	задовільний
7 СГ	Печерський	Діяльність ресторанів, надання послуг мобільного харчування	0,653	задовільний
8 СГ	Святошинський	Роздрібна торгівля пальним	0,669	задовільний
9 СГ	Подільський	Комплексне обслуговування об'єктів	0,599	низький
10 СГ	Солом'янський	Роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах переважно продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами	0,693	задовільний

Візуалізацію результатів відповідності нормованих значень комплексного критерію контролю екологічної діяльності системи екологічного управління (SEM) рівню екологічної безпеки СГ зображено на рис. 15.

Встановлено, що найбільша частка підприємств складає групу СГ із задовільним рівнем екологічної безпеки (вісім об'єктів дослідження). Низький рівень екологічної безпеки відзначено у СГ Подільського району м. Києва, що пов'язано з відсутністю організаційних змін в його діяльності. Високому рівню екологічної безпеки відповідає лише підприємство Дарницького району, на якому СЕУ було впроваджено у 2008 р. за версією ДСТУ ISO 14001:2006. Виявлені проблеми у контексті системи «Суб'єкт господарювання», проведення коригувальних дій та застосування управлінських підходів покращили показники контролю екологічної діяльності СЕУ досліджуваного підприємства.

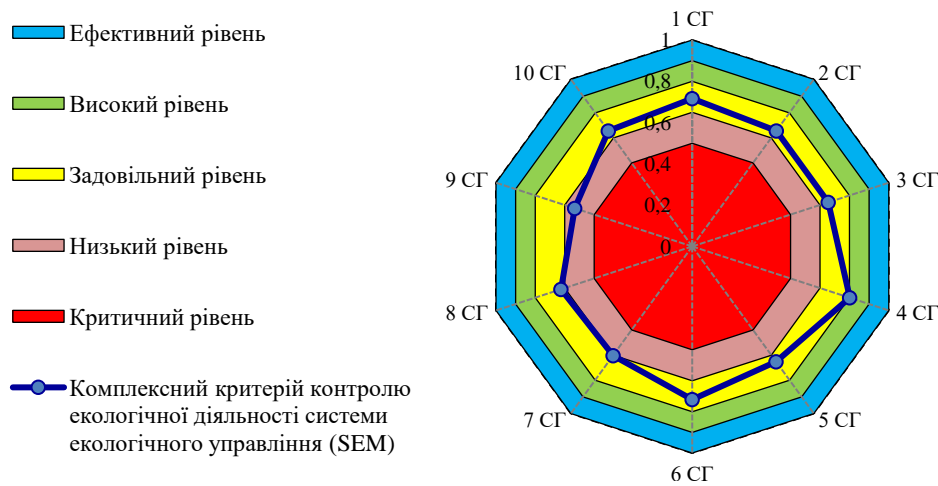


Рис. 15. Рівень екологічної безпеки СГ за розподілом нормованих значень комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ (SEM)

Таким чином, перегляд стратегії організації діяльності СГ у напрямку постійного поліпшування показників екологічної результативності, ефективності управління та екологічної дієвості, постійний аналіз контексту системи «Суб'єкт господарювання», застосування управлінських підходів на кожному етапі впровадження СЕУ дозволили СГ покращити показники контролю екологічної діяльності СЕУ та підвищити рівень екологічної безпеки.

Для вибору типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування проведено анкетування. Розроблено опитувальник, який містив питання, об'єднані у блоки для оцінювання експертами-фахівцями управлінських інструментів, які використовувало керівництво СГ для постійного поліпшування СЕУ. Отримані результати розраховано за алгоритмом нечіткого виведення, проведено дефазифікацію та отримано оцінку рівня організаційних змін діяльності СГ, що дало змогу структурувати їх залежно від типу моделі СЕУ за ефективністю функціонування (табл. 7).

Таблиця 7 – Рівень організаційних змін діяльності суб'єктів господарювання та типи моделей систем екологічного управління за ефективністю функціонування

№	Район	Суб'єкт господарювання	Рівень організаційних змін за шкалою [0;100], %	Тип моделі СЕУ за ефективністю функціонування
1	2	3	4	5
1 СГ	Голосіївський	Будівництво доріг та автострад	77,1	Environmentally hot
2 СГ	Оболонський	Виробництво м'яса	50,0	Environmentally soft
3 СГ	Шевченківський	Надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна	50,0	Environmentally soft
4 СГ	Дарницький	Виробництво парфумних і косметичних засобів	77,9	Environmentally hot
5 СГ	Дніпровський	Виробництво інструментів і обладнання для вимірювання, дослідження та навігації	30,2	Environmentally soft
6 СГ	Деснянський	Пасажирський наземний транспорт міського та приміського сполучення	74,6	Environmentally hot

Закінчення табл. 7

1	2	3	4	5
7 СГ	Печерський	Діяльність ресторанів, надання послуг мобільного харчування	23,1	Environmentally cold
8 СГ	Святошинський	Роздрібна торгівля пальним	31,2	Environmentally soft
9 СГ	Подільський	Комплексне обслуговування об'єктів	22,6	Environmentally cold
10 СГ	Солом'янський	Роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах переважно продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами	50,0	Environmentally soft

За результатами розрахунків встановлено, що три СГ належать до екологічно гарячого типу СЕУ, оскільки керуються у своїй діяльності принципами збалансованого розвитку, зменшують негативний вплив на довкілля шляхом покращення механізму організації діяльності, що привело до підвищення їх рівня ЕБ (рис. 16). Високий рівень організаційних змін діяльності характерним для СГ, які здійснюють свою діяльність у Голосіївському (77,1 %) та Деснянському (74,6 %) районах м. Києва. Найбільш ефективні управлінські підходи керівництва відзначено у СГ, що здійснює діяльність у Дарницькому районі м. Києва і має рівень організаційних змін діяльності 77,9 %, що є ознакою екологічно гарячого типу СЕУ.

Встановлено, що група СГ за рівнем організаційних змін діяльності від 22,6 % до 30,2 % характеризується екологічно холодним типом СЕУ.

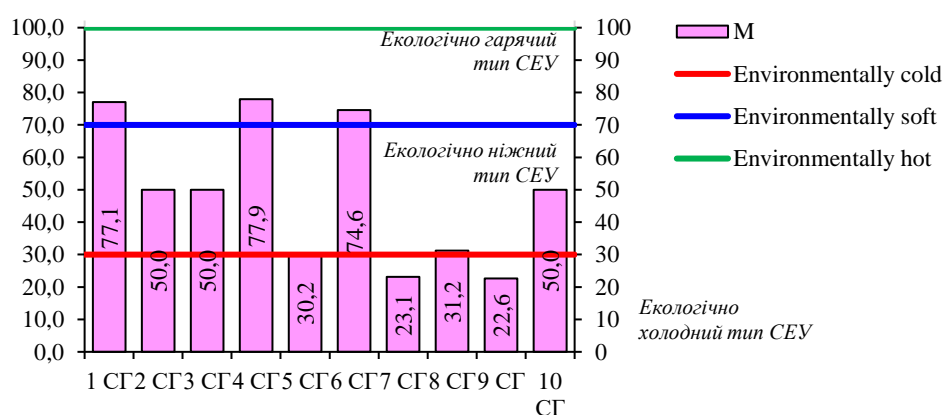


Рис. 16. Типи моделей СЕУ за ефективністю функціонування

Встановлено, що застосування управлінських підходів для всіх підсистем системи «Суб'єкт господарювання», швидкі коригувальні заходи та постійний контроль екологічної діяльності дозволяють якісно провести організаційні зміни діяльності СГ та впровадити ефективно функціонуючу СЕУ.

Ранжування суб'єктів господарювання показало, що розрахунки за різними складовими методів мають близькі за рангом рівні (табл. 8).

Отримані результати досліджень щодо контролю екологічної діяльності СЕУ та рівня організаційних змін діяльності СГ дали можливість класифікувати системи управління екологічною безпекою СГ за рівнем їх розвитку.

Таблиця 8 – Ранжування СГ за рівнем організаційних змін та контролем екологічної діяльності системи екологічного управління

№	Район	Суб'єкт господарювання	Комплексний критерій контролю екологічної діяльності системи екологічного управління (SEM)	Ранжування за комплексним критерієм	Рівень організаційних змін за шкалою [0;100], % (M)	Ранжування за рівнем організаційних змін
1 СГ	Голосіївський	Будівництво доріг та автострад	0,717	3	77,1	2
2 СГ	Оболонський	Виробництво м'яса	0,692	5	50	4
3 СГ	Шевченківський	Надання в оренду й експлуатацію власного чи орендованого нерухомого майна	0,692	5	50	4
4 СГ	Дарницький	Виробництво парфумних і косметичних засобів	0,802	1	77,9	1
5 СГ	Дніпровський	Виробництво інструментів і обладнання для вимірювання, дослідження та навігації	0,69	7	30,2	8
6 СГ	Деснянський	Пасажирський наземний транспорт міського та приміського сполучення	0,741	2	74,6	3
7 СГ	Печерський	Діяльність ресторанів, надання послуг мобільного харчування	0,653	9	23,1	9
8 СГ	Святошинський	Роздрібна торгівля пальним	0,669	8	31,2	7
9 СГ	Подільський	Комплексне обслуговування об'єктів	0,599	10	22,6	10
10 СГ	Солом'янський	Роздрібна торгівля в неспеціалізованих магазинах переважно продуктами харчування, напоями та тютюновими виробами	0,693	4	50	4

Застосувавши агломеративний ієрархічний алгоритм класифікації, для узагальнення отриманих результатів біло проведено кластерний аналіз даних за принципом «найближчого сусіда». На основі пошуку мінімальних евклідових відстаней між вхідними даними та в процесі об'єднання наближених значень для зменшення числа кластерів сформовано результуючу матрицю відстаней та отримано три кластери рівня розвитку системи управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання, а саме: перший кластер (оптимальний рівень розвитку системи управління екологічною безпекою) – суб'єкти господарювання, що здійснюють свою діяльність у Голосіївському, Дарницькому та Деснянському районах; другий кластер (середній рівень розвитку системи управління екологічною безпекою) – суб'єкти господарювання, що здійснюють свою діяльність у Оболонському, Шевченківському та Солом'янському районах; третій кластер (мінімальний рівень розвитку системи управління екологічною безпекою) – суб'єкти господарювання, що здійснюють діяльність у Дніпровському, Печерському, Подільському та Святошинському районах.

Таким чином, найбільший кластер складають СГ, рівень розвитку системи управління екологічною безпекою яких має критичний характер і вимагає негайного втручання та коригування управлінських рішень.

Отже, запроваджуючи організаційні зміни та контролюючи й постійно поліпшуючи критерії та показники екологічної діяльності, СГ, які здійснюють різну за видами економічну діяльність, зможуть підвищувати рівень розвитку системи управління екологічною безпекою.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною кваліфікаційною самостійно виконаною науковою працею, наведено розв'язання актуальної проблеми створення наукових основ застосування методів біотестування та біоіндикації як додаткових інструментів під час моніторингових досліджень для встановлення рівня розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання. Основні результати досліджень наведено нижче.

1. Здійснено аналіз сучасного стану науково-технічних досягнень з питань шкідливого впливу діяльності суб'єктів господарювання на довкілля та виявлено, що одним із небезпечних чинників є низький рівень організації їх діяльності під час розроблення, впровадження та функціонування СЕУ. В результаті виявлено, що відсутність контролю за екологічною діяльністю СЕУ СГ приводить до зниження рівня екологічної безпеки підприємств і організацій та позначається на стані природних компонентів довкілля.

2. Запропоновано методологію та обґрунтовано проведення досліджень, які передбачали застосування як теоретичних так і експериментальних методів, зокрема системного аналізу; математичного моделювання; біологічного моніторингу; методи відбору проб; хімічні та фізико-хімічні методи тощо.

3. Теоретично обґрунтовано та проведено системний аналіз системи екологічного управління, який дав змогу здійснити декомпозицію контексту системи «Суб'єкт господарювання» і сформулювати концептуальні моделі її підсистем. Встановлено, що зміна перебігу процесів контролю екологічної діяльності СЕУ та її функціонування здійснюються комплексом керуючих та регулюючих факторів і залежить від взаємодії елементів підсистем системи «Суб'єкт господарювання».

4. Розроблено структурну модель і процедуру вибору та застосування управлінських підходів для ефективного функціонування СЕУ на кожному етапі її розроблення та впровадження. Встановлено, що ефективне функціонування СЕУ залежить від комбінації підходів до управління, за допомогою яких досягається послідовність впровадження та регулювання взаємозв'язків між елементами підсистем системи «Суб'єкт господарювання».

5. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що форма організації діяльності суб'єкта господарювання під час впровадження та функціонування СЕУ є інтегрованим процесом її постійного поліпшування, а механізм полягає в контролі та спостереженні за станом запропонованих показників: екологічної результативності, ефективності управління та екологічної дієвості системи екологічного управління.

6. Розроблено критерії контролю екологічної діяльності СЕУ, які надають можливість для визначення рівня екологічної безпеки СГ та оцінювання рівня розвитку систем управління екологічною безпекою.

7. Сформовано метод визначення комплексного критерію контролю екологічної діяльності СЕУ з урахуванням коефіцієнтів вагомості окремих чинників та групових показників, що дозволило встановити рівень екологічної безпеки досліджуваних суб'єктів господарювання.

8. Розроблено систему показників та запропоновано метод визначення типу системи екологічного управління за ефективністю функціонування в умовах невизначеності на основі теорії нечітких множин, що дало можливість вирішити проблему визначення рівня ефективного функціонування системи екологічного управління.

9. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень із застосуванням методів біотестування та біоіндикації встановлено реакцію-відповідь організмів на стан забруднення природних компонентів довкілля внаслідок діяльності суб'єктів господарювання до та після впровадження систем екологічного управління. Експериментально підтверджено, що зменшення потужності викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря суб'єктами господарювання в результаті проведених організаційних змін діяльності позначається на стані природних компонентів довкілля та покращує якість перебігу процесів розвитку *T. cordata* на 12–37 %, *P. sylvestris* – 6–23 %, позначається на вегетативному розвитку *T. cordata* збільшенням площі листових пластинок від 4,3 до 5,72 см² та зменшенням їх пилового забруднення від 31 до 53%, а також призводить до зменшення проявів дестабілізації *B. pendula*. Встановлено, що зменшення рівня токсичності атмосферних опадів і ґрунтів на 73 й 62 % відповідно оптимізує розвиток *L. sativum* на всіх стадіях онтогенезу. Експериментально визначено, що зменшення потужності викидів забруднюючих речовин суб'єктами господарювання, які знаходяться на рівновіддаленій відстані від досліджуваних водойм, не позначається на покращенні ступеня їх токсичності.

10. Розраховано комплексний критерій контролю екологічної діяльності СЕУ з урахуванням коефіцієнтів вагомості окремих чинників та групових показників й визначено рівень ЕБ СГ, що дозволило визначити, що найвищий рівень екологічної безпеки після впровадження СЕУ спостерігається в суб'єкта господарювання Дарницького району (0,802), який на 34 % більше від рівня ЕБ (0,599) підприємства Подільського району м. Києва.

11. Змодельовано рівень організаційних змін діяльності та обрано типи моделей системи екологічного управління за ефективністю функціонування для досліджуваних СГ. Встановлено, що суб'єкти господарювання Голосіївського, Дарницького та Деснянського районів м. Києва складають групу з упровадженням екологічно гарячим типом СЕУ із значенням від 74,6 до 77,1 %; суб'єкти господарювання Оболонського, Шевченківського, Дніпровського, Святошинського та Солом'янського районів входять до групи, функціонуючої з екологічно нижнім типом СЕУ (від 30,2 до 50,0 %); суб'єкти господарювання Подільського та Печерського районів м. Києва (від 22,6 до 23,1 %) впровадили екологічно холодний тип СЕУ, що вимагає невідкладного втручання в управлінські процеси та потребує кардинальних змін для підвищення рівня ЕБ.

12. Змодельовано розвиток систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання за організаційними змінами та контролем екологічної діяльності СЕУ СГ. Встановлено, що суб'єкти господарювання, які здійснюють діяльність у Голосіївському, Дарницькому та Деснянському районах, характеризуються оптимальним рівнем розвитку системи управління

екологічною безпекою; суб'єкти господарювання, що здійснюють свою діяльність в Оболонському, Шевченківському та Солом'янському районах, відповідають середньому рівню; мінімальний рівень розвитку системи управління екологічною безпекою відзначено у суб'єктів господарювання, що здійснюють свою діяльність у Дніпровському, Печерському, Подільському та Святошинському районах м. Києва.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Varabash O. V. Evaluation of bottle water quality in well room complexes of Kyiv. Ecology and human health: monograph / O. V. Varabash, Czestochova. 2018. P. 121–131.
2. Барабаш О. В. Оцінювання ефективності функціонування систем екологічного управління суб'єктів господарювання. / О. В. Барабаш, Київ. 2020. 236 с.

Статті, які входять до наукометричних баз даних та до фахових видань України

3. Барабаш О. В., Рубежняк І. Г., Ковальова О. В. Оцінка забруднення урбанізованих екосистем. *Вісник Національного транспортного університету*. 2009. Вип. 18. С. 147–151. *Авторці належить аналіз показників, що оцінюють ефект одночасної дії декількох речовин, які знаходяться в атмосферному повітрі, на рослинні організми залежно від відстані до джерела забруднення.*
4. Барабаш О. В., Бойко Т. І. Ідентифікація екологічних аспектів та створення екологічної політики для автотранспортного підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. 2010. Вип. 20. С. 71–74. *Авторка брала участь у проведенні попереднього аналізу діяльності підприємства та ідентифікації суттєвих екологічних аспектів впливу на стан довкілля.*
5. Барабаш О. В., Солодка Ю. В. Оцінка інтенсивності забруднення снігового покриву придорожньої зони м. Києва як показник забруднення атмосферного повітря. *Вісник Національного транспортного університету*. 2011. Вип. 22. С. 46–52. *Авторці належить встановлення залежності між просторовим розподілом забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та наявністю їх у сніговому покриві як депонуючому середовищі для визначення ступеня впливу діяльності підприємств на стан навколишнього середовища.*
6. Барабаш О. В., Рубежняк І. Г. Крес-салат (*Lepidium sativum* L.) як фітоіндикатор вмісту іонів важких металів у депонованих середовищах повітря-сніг. *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2012. С. 131–134. *Авторка брала участь у проведенні експериментальних досліджень щодо наявності важких металів у зразках та визначенні їх впливу на морфометричні показники тест-об'єктів.*
7. Барабаш О. В., Кобзиста О. П. Аудит як ефективний інструмент екологічної діяльності підприємств харчової галузі. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. Вип. 27. С. 350–358. *Автору належить добувач ідентифікація екологічних аспектів та впливу діяльності підприємства на стан*

довкілля, визначення етапів проведення екологічного аудиту та запропоновані заходи щодо покращення екологічної діяльності.

8. Барабаш О. В. Оцінка рівня екологічної безпеки водних об'єктів м. Києва. *Вісник Національного транспортного університету*. 2014. Вип. 30 (1). С. 31–38.

9. Барабаш О. В., Титикало Я. А. Досвід впровадження системи екологічного менеджменту підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. Вип. 2 (32). С. 352–361. *Авторці належить розроблення шляхів оптимізації впровадження системи екологічного менеджменту за допомогою керівних принципів Вінтера.*

10. Барабаш О. В., Виноградова Д. О. Екологічний моніторинг забруднення ґрунтів з використанням біологічних тест-об'єктів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2015. Вип. 2(32). С. 342–351. *Авторці належить проведення та обробка експериментальних досліджень щодо оцінки токсичності ґрунтів, відібраних у різних районах м. Києва.*

11. Varabash O. V. Combination of approaches of management for effective introduction and functioning of the environmental management system. *Acta Carpatica*. 2015. 24. P. 81–88.

12. Varabash O. V. Bioindication estimation of urban ecosystems pollution in Kyiv. *Acta Carpatica*. 2016. 25–26. P. 105–112.

13. Барабаш О. В., Корнієнко Д. В., Антонюк М. В. Розробка системи екологічного менеджменту для підприємств промислового комплексу як механізм сталого розвитку регіону. *Правничий вісник університету «КРОК»*. 2017. Вип. 29. С. 166–172. *Авторці належить встановлення залежності зменшення впливу діяльності підприємств промислового комплексу шляхом впровадження систем екологічного менеджменту на розвиток регіону.*

14. Барабаш О. В., Вознюк Я. Ю. Екологічний слід як індикатор природного капіталу екосистем. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2018. № 1(20). С. 109–114. *Авторці належить проведення обчислення екологічного дефіциту та природного капіталу екосистем регіону.*

15. Барабаш О. В. Впровадження системи екологічного менеджменту на підприємствах як інструмент забезпечення екологічної безпеки агломерацій. *Shipbuilding & marine infrastructure*. 2018. Вип. 2 (10). С. 222–227.

16. Барабаш О. В. Ефективність системи екологічного менеджменту як індикатор екологічної безпеки агломерацій. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2018. Вип. 4 (23). С. 14–19.

17. Барабаш О. В., Кухтик Н. О. Розробка системи екологічного менеджменту на підприємствах хімічної промисловості як основа сталого розвитку. *Scientific letters of academic society of Michal Baludansky*. 2018. 6, 2A. P. 29–33. *Авторка брала участь у проведенні попереднього екологічного аналізу та ідентифікації екологічних аспектів діяльності підприємства хімічної галузі.*

18. Varabash O. V., Lozova T. M., Kozlova T. A. Assessment of the urban environment quality in Kyiv. *Acta Carpatica*. 2018. 27. P. 5–11. *Авторці належить обробка експериментальних даних щодо залежності стабільності розвитку морфологічних структур деревних насаджень від екологічної діяльності підприємств, що розташовані на прилеглий території.*

19. Барабаш О. В., Лозова Т. М., Козлова Т. А. Оцінка інтенсивності антропогенного впливу за рівнем флуктуаційної асиметрії морфологічних структур. *Біологія та екологія*. 2018. Т.4, № 1. С. 66–73. *Авторці належить обробка експериментальних даних для оцінювання якості середовища за реакцією-відповіддю організмів у період індивідуального розвитку.*
20. Барабаш О. В. Оцінка рівня екологічної безпеки урбоекосистем за станом атмосферного повітря. *Екологічна безпека та природокористування*. Вип. 3 (31). 2019. С. 57–63.
21. Барабаш О. В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря методом дендроіндикації. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Вип. 4 (27). 2019. С. 102–108.
22. Varabash O. V., Khrutba V. O. Assessment of atmospheric air pollution level in Kyiv. *Environmental problems*. Vol. 4, № 3, 2019. P. 156–160. *Авторці належить обробка експериментальних досліджень щодо встановлення залежності зміни пилового забруднення та морфологічних параметрів вегетативних органів *T. cordata* Mill. на відстані від джерела пилоутворення.*
23. Барабаш О. В. Оцінка ступеня токсичності поверхневих вод м. Києва. *Екологічна безпека. Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського*. 2019. №2 (28). С. 31–37.
24. Барабаш О. В. Особливості моделей впровадження та функціонування системи екологічного управління на промислових підприємствах. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. Вип. 1 (475). 2019. С. 237–242.
25. Барабаш О. В. Визначення контексту підприємства для впровадження екологічно дієвої системи екологічного управління. *Shipbuilding & marine infrastructure*. № 2 (12). 2019. С. 42–47.
26. Varabash O. V. Ecological hazard assessment of the atmospheric air at the urban ecosystem by the state of the deposit environment. *Вісник авіаційного університету*. 2019. Т. 81, № 4. С. 57–63.
27. Барабаш О. В. Сучасний стан впровадження та функціонування систем екологічного управління суб'єктів господарювання в Україні та світі. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. Вип. 2 (476). 2019. С. 67–72.
28. Барабаш О. В. Оцінка екологічної небезпеки атмосферного повітря урбоекосистеми за станом депонуючого середовища. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2019. № 1(20). С. 71–78.
29. Барабаш О. В. Удосконалення організації діяльності суб'єктів господарювання під час впровадження системи екологічного управління. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Вип. 4 (28). 2020. С.135–140
30. Хрутьба В. О., Барабаш О. В., Зюзюн В. І., Неведров Д. С. Застосування біомоніторингу для виявлення небезпек в проектах критичної інфраструктури. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами»*. 2020. № 2. С. 71–77. *Авторці належить обробка експериментальних досліджень щодо*

встановлення наявності некротичних пошкоджень вегетативних органів *P. sylvestris* L. залежно від відстані до об'єктів критичної інфраструктури.

31. Barabash O., Weigang G. Mathematical Modeling of the Summarizing Index for the Biosystems Status as a Tool to Control the Functioning of the Environmental Management System at Business Entities. *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020)*. 2020. Vol. 1265. P.56–66. **Scopus**. Авторка брала участь у формуванні методики визначення групового показника екологічної дієвості СЕУ (ЕЕ), що базується на системі узагальнюючих індикаторів.

32. Хрутьба В. О., Барабаш О. В., Невєдров Д. С., Зюзюн В. І. Формування системи критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Вип. 1 (46). 2020. С.405–415. Авторці належить формування та деталізація критерію «техногенне середовище» для оцінювання впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів КІ.

Підручники та навчальні посібники

33. Дмитриченко М. Ф., Дмитрієв М. М., Матейчик В. П., Гутаревич Ю. Ф., Грищук О. К., Хрутьба В. О., Кобзиста О. П., Барабаш О. В., Гусєв Г. Ф., Рутковська І. А., Лясковський В. П., Крюковська Л. І., Горідько Н. М., Боціон А. П., Никонович С. О. Екологічний менеджмент : навч. посібник. Київ : НТУ. 2010. 193 с. Авторці належить формування розділу екологічно-правового регулювання впровадження системи екологічного менеджменту.

34. Барабаш О. В. Біоіндикація. Словник-довідник. К. : НТУ. 2017. 97с.

Публікації в матеріалах конференцій

35. Старікова Т. В., Барабаш О. В., Рубежняк І. Г. Вміст цинку та міді в рослинних зразках берези звичайної на ділянці Броварського проспекту м. Києва. *Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства: тези всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів*. (Кременчук, 9–10 квітня 2009 р.). Кременчук. 2009. С. 174–175. Авторці належить аналіз показників для оцінки ефекту одночасної дії декількох речовин, що знаходяться в атмосферному повітрі на рослинні організми.

36. Бойко Т. І., Барабаш О. В. Ідентифікація екологічних аспектів та створення екологічної політики для автотранспортного підприємства. *Наука. Молодь. Екологія – 2010: тези VI всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених*. (Житомир, 26–28 травня 2010 р.). Житомир. 2010. С. 200–203. Авторкою сформульовано ідею, проблему та методику досліджень, узагальнено результати досліджень, складено висновки.

37. Барабаш О. В., Бойко Т. І. Розробка програми менеджменту навколишнього середовища автотранспортного підприємства. *LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 12–14 травня 2010 р.). Київ: НТУ, 2010. С. 92–93. Авторці належить розробка програми менеджменту навколишнього середовища автотранспортного підприємства.

38. Барабаш О. В., Стахнюк І. Л. Екологічний аудит ЗАТ «Линовицький цукровий завод «Красний»». *LXVII наукова конференція професорсько-*

викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. (Київ, 11–13 травня 2011 р.). Київ: НТУ, 2011. С. 80–81. Авторкою сформульовано програму екологічного аудиту для ЗАТ «Линовицький цукровий завод «Красний».

39. Барабаш О. В., Солодка Ю. В. Оцінка інтенсивності забруднення снігового покриву придорожньої зони м. Києва як показник забруднення атмосферного повітря: тези доповідей науково-практичної конференції, приуроченої 100-річчю з дня народження Юрія Юркевича. (Київ, 28 січня 2011 р.). Київ, 2011. С. 24–25. Авторці належить розробка алгоритму експрес-оцінювання інтенсивності забруднення снігового покриву придорожньої зони м. Києва.

40. Барабаш О. В., Роздобудько Л. В. Оцінка ступеня забруднення снігового покриву поблизу автомобільних магістралей м. Києва. *Екологія та екологічна освіта*: тези I всеукраїнської студентської наукової конференції. (Київ, 2011 р.). Київ: НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2011. С.28–29. Авторка брала участь у проведенні лабораторних досліджень снігового покриву відібраного поблизу автомобільних магістралей м. Києва.

41. Барабаш О. В., Гнаповська О. О. Структурно-функціональні зміни рослинності в умовах техногенного забруднення. *LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16–18 травня 2012 р.). Київ: НТУ, 2012. С. 93–94. Авторкою сформульовано алгоритм дослідження структурно-функціональних змін рослинності в умовах техногенного забруднення.

42. Барабаш О. В., Кашка І. О. Розробка системи екологічного менеджменту для ПРАТ «А/т тютюнова компанія «ВАТ-Прилуки». *LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 23–25 квітня 2013). К. : НТУ, 2013. С. 94. Авторці належить проведення попереднього екологічного аналізу ПРАТ «А/т тютюнова компанія «ВАТ-Прилуки».

43. Барабаш О. В., Ковтун Т. О. Моніторинг якості середовища як система попередження змін стану рослинних об'єктів. *LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 14–16 травня 2014 р.). Київ: НТУ, 2014. С. 84. Авторкою обґрунтовано результати розрахунків для визначення стабільності розвитку рослинних організмів.

44. Барабаш О. В., Титикало Я. А. Розробка моделі планування та екологічної стратегії на основі керівних принципів СЕМ для ПОСП «Уманський тепличний комбінат». *LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету*. (Київ, 16–18 травня 2012). К. : НТУ, 2015. С. 100. Авторці належить дослідження щодо можливості застосування моделі Вінтера на підприємствах України для впровадження СЕМ.

45. Барабаш О. В., Галанюк І. І. Удосконалення процесів впровадження системи екологічного менеджменту на основі європейського досвіду. *LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та*

співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. (Київ, 11–13 травня 2016). К.: НТУ, 2016. С. 84–85. Авторка брала участь у дослідженні європейського досвіду застосування стратегічних інструментів управління для впровадження системи екологічного управління.

46. Барабаш О. В., Індутний Є. Г. HRM підприємства в період впровадження та функціонування системи екологічного менеджменту. *LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 17–19 травня 2017). К.: НТУ, 2017. С. 101. Авторці належить дослідження застосування мотиваційного підходу до управління на підприємствах на всіх етапах впровадження системи екологічного менеджменту.

47. Барабаш О. В., Козлова Т. А. Оцінка токсичності водного середовища за допомогою тест-культур. *LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету.* (Київ, 16–18 травня 2018). К.: НТУ, 2018. С. 106. Авторці належить обробка експериментальних досліджень щодо визначення ступеня токсичності аналізованих водних об'єктів м. Києва.

48. Барабаш О. В., Карпушева М. Г. Нормативно-правові аспекти захисту екосистем та розвитку екологічної мережі України. *Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції* (Івано-Франківськ, 10–11 травня 2016 р.). Івано-Франківськ, 2016. С. 91–93. Авторка брала участь у дослідженні проблем законодавства щодо розвитку екологічної мережі України.

49. Барабаш О. В. Аналіз підходів впровадження системи екологічного менеджменту. *Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції* (Дрогобич, 12–14 жовтня 2016 р.). Дрогобич, 2016. С. 12–13.

50. Барабаш Е. В. Мотивационный подход как эффективный инструмент результативной системы экологического менеджмента автотранспортного предприятия. *Наука – образованию, производству, экономике: тезисы XV Международной научно-технической конференции.* Минск. 2017. С. 97–98.

51. Барабаш О. В., Хрутьба В. О. Оцінка рівня екологічної безпеки урбоекосистем за стабільністю розвитку деревних насаджень. *Проблеми екологічної безпеки: праці XVII міжнародної науково-технічної конференції* (Кременчук, 2–4 жовтня 2019 р.). Кременчук. 2019. С. 208–212. Авторці належить обробка експериментальних досліджень щодо визначення флуктуацій деревних насаджень адміністративних районів м. Києва.

52. Барабаш О. В., Хрутьба В. О. Оцінка пилового забруднення атмосферного повітря м. Києва: праці VII всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю (Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.). Вінниця. 2019. С. 110–111. Авторці належить обробка експериментальних досліджень щодо визначення пилового забруднення атмосферного повітря адміністративних районів м. Києва.

53. Барабаш О. В. Покращення системи екологічного моніторингу для комплексної оцінки стану компонентів урбоекосистеми. *Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку / ТЕБ-2019: матеріали IX*

Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції. (Ірпінь, 04–15 листопада 2019 р.). Ірпінь. 2019. С. 187–190.

54. Barabash O., Weigang G. Mathematical Modeling of the Summarizing Index for the Biosystems Status as a Tool to Control the Functioning of the Environmental Management System at Business Entities. *Mathematical modeling and simulation of systems Mods'2020: XV International scientific-practical conference*. (Chernihiv, 29 June, 1 July, 2020). Chernihiv. 2020. P. 11. *Авторкою сформульовано методику визначення групового показника екологічної дієвості СЕУ (ЕЕ)*.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

55. Літературний письмовий твір наукового характеру «Екологічний менеджмент: посібник». Дмитриченко М. Ф., Дмитрієв М. М., Матейчик В. П., Гутаревич Ю. Ф., Грищук О. К., Хрутьба В. О., Кобзиста О. П., Барабаш О. В., Гусєв Г. Ф., Рутковська І. А., Лясковський В. П., Крюковська Л. І., Горідько Н. М., Боціон А. П., Никонович С. О. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір №34049 від 12.07.2010.

56. Літературний письмовий твір наукового характеру «Система критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури». В. О. Хрутьба, В. І. Зюзюн, О. В. Барабаш, О. В. Спасіченко, Д. С. Неведров. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 96544 від 06.03.2020.

57. Літературний письмовий твір наукового характеру «Моделювання контексту системи «Суб'єкт господарювання». Барабаш О. В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на службовий твір № 96543 від 06.03.2020.

АНОТАЦІЯ

Барабаш О. В. Наукові основи застосування методів біотестування та біоіндикації в системах управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний транспортний університет. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми створення наукових основ застосування методів біоіндикації та біотестування в системах управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання.

В результаті проведення комплексу теоретичних і експериментальних досліджень у дисертації створено наукові засади застосування методів біотестування та біоіндикації, як додаткового інструменту моніторингових досліджень під час розробки, впровадження та функціонування СЕУ, що дозволило отримати інформацію про рівень екологічної безпеки суб'єктів господарювання та стан природних компонентів довкілля в межах впливу їх діяльності.

Обґрунтовано нові наукові положення, висновки та рекомендації, а також запропоновано методи визначення комплексного критерію екологічної

діяльності системи екологічного управління та вибору типу системи екологічного управління за ефективністю функціонування, які дозволяють визначити та підвищити рівень розвитку систем управління екологічною безпекою суб'єктів господарювання шляхом проведення організаційних змін їх діяльності та контролю екологічної діяльності функціонуючої системи екологічного управління.

Ключові слова: екологічна безпека, система екологічного управління, ефективність функціонування, екологічна дієвість, організаційні зміни діяльності, природні компоненти довкілля, біоіндикація, біотестування.

ABSTRACT

Barabash O.V. Scientific basis for the application of biotesting and bioindication methods in environmental management systems of economic entities. – Qualified scientific work on the rights of the manuscript. Thesis for a degree Doctor of Technical Sciences in specialty 21.06.01 – Environmental Safety. – National Transport University. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the current scientific and technical problem of creating scientific bases for the application of bioindication and biotesting methods in of environmental management systems of economic entities.

As a result of a set of theoretical and experimental studies, a scientific basis for the application of biotesting and bioindication as an additional tool for monitoring studies during the development, implementation and operation of EMS, which allowed to obtain information about environmental safety and natural components of the environment within the influence of their activities, was created in the dissertation.

New scientific provisions, conclusions and recommendations were substantiated, and methods for establishing a complex criterion for ecological activity of the environmental management system and a choice of type of environmental management system based on efficiency allowing to define and increase the level of development for environmental management system of economic entities introducing organizational changes in their activity and control for the ecological activity of the functioning environmental management system.

Keywords: environmental safety, environmental management system, efficiency, environmental performance, organizational changes in activity, natural components of the environment, bioindication, biotesting.