

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра Інформаційних систем

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

_____ (підпис)

« ____ »

Форсюк А.В.

(прізвище та ініціали)

2021 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ (підпис)

« ____ »

Чумаченко С.М.

(прізвище та ініціали)

2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності

122«Комп'ютерні науки»

код та назва спеціальності

освітньо-професійної програми Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг

на тему: Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних

мереж

Виконав: здобувач 6 курсу, групи КМ-2-5М

Турбал Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Дівізінюк Михайло Михайлович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Інформаційних систем

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Комп'ютерний еколого-економічний моніторинг
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Інформаційних систем

Чумаченко С. М.
“ ” _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Турбал Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж

Керівник роботи: Дівізінюк Михайло Михайлович, доктор технічних наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “18” 11 2020 року № 953-кс

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи інформація про роботу системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля, положення Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки праці та виробничого середовища

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____
Розділ 1. Аналіз концепцій і завдань екологічної безпеки, моделей оцінки якості довкілля в екологічному управлінні, Розділ 2. Удосконалення системи екологічного моніторингу з використанням безпроводних сенсорних мереж, Розділ 3. Розробка інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля

• _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

Структурно-логічні моделі, схеми бази знань, мультимедійна презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4	Чумаченко С. М., доктор технічних наук, завідувач кафедри		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Оформлення першого розділу кваліфікаційної роботи		
2	Створення інформаційної системи		
3	Оформлення другого розділу кваліфікаційної роботи		
4	Оформлення третього розділу кваліфікаційної роботи		

Здобувач _____
(підпис)

Турбал О. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дівізніюк М. М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній магістерській роботі сформульовано й вирішено важливу **науково-технічну задачу** комплексного оцінювання якості навколишнього середовища промислово-міських агломерацій із застосуванням безпроводних сенсорних мереж:

Об'єктом дослідження є процеси забезпечення екологічної безпеки і оцінювання впливу техногенних факторів промислово-міських агломерацій.

Предмет дослідження є моделі, алгоритми і процедури підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано підхід до моніторингу екологічного стану промислових об'єктів на рівні ПТГС і територіально-об'єктових угруповань, що дозволяє встановити механізми саморегулювання рівнів техногенного впливу на НПС за рахунок контролю трансформаційних процесів в техногенних потоках.

2. Удосконалено методичне забезпечення моніторингу стану екологічності природно-техногенних геосистем шляхом впровадження безпроводних сенсорних мереж і забезпечення комплексності прийняття управлінських рішень на рівні «стан систем – процес – стан об'єкта».

3. Дістала подальший розвиток структура система підтримки прийняття рішень щодо оцінки стану безпроводної сенсорної мережі моніторингу з використанням газоаналізаторів на основі аналізу небезпечності впливу викидів небезпечних повітряно-газових сумішей промислово-енергетичних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані в системах підтримки прийняття рішень для оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях приземного шару атмосфери для різних промислових підприємств.

Апробація роботи. Результати дослідження доповідалися на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій» (м. Київ, НУХТ, 25-26 січня 2021 р.).

Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 101 сторінка.

Ключові слова: інформаційна технологія, екологічний моніторинг, параметри навколишнього середовища, екологічна безпека, безпроводні сенсорні мережі

ANNOTATION

In the qualification master's work the important scientific and technical problem of complex estimation of quality of environment of industrial and urban agglomerations with application of wireless sensor networks is formulated and solved:

The object of the study is the processes of environmental safety and assessment of the impact of man-made factors of industrial and urban agglomerations.

The subject of research is models, algorithms and procedures to support decision-making to monitor the state of the environment using wireless sensor networks.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

1. For the first time, an approach to monitoring the environmental condition of industrial facilities at the level of PTGS and territorial groupings is proposed, which allows to establish mechanisms of self-regulation of levels of man-made impact on NPS by controlling transformation processes in man-made flows.

2. Improved methodological support for monitoring the state of environmental friendliness of natural and man-made geosystems through the introduction of wireless sensor networks and ensuring the complexity of management decisions at the level of "state of systems - process - state of the object."

3. The structure of the decision support system for assessing the state of the wireless sensor monitoring network using gas analyzers based on the analysis of the risk of exposure to emissions of hazardous air and gas mixtures of industrial and energy facilities has been further developed.

The practical significance of the results. The results of the work can be used in decision support systems for the assessment and management of environmental safety in case of pollution of the surface layer of the atmosphere for various industrial enterprises.

Approbation of work. The results of the study were presented at the annual International scientific-practical conference "Actual problems of information systems and telecommunications technologies" (Kyiv, NUHT, January 25-26, 2021).

The work consists of an introduction, three sections, general conclusions, a list of sources and appendices. The total volume of the work is 101 pages.

Keywords: information technology, ecological monitoring, environmental parameters, ecological safety, wireless sensor networks

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 Аналіз концепцій і завдань екологічної безпеки, моделей оцінки якості довкілля в екологічному управлінні	15
1.1. Огляд основних задач і концепцій системи екологічної безпеки	15
1.2. Характеристика сучасних моделей оцінки якості навколишнього середовища і систем екологічного управління	18
1.3. Аналіз впровадження в екологічне управління інтегровальних принципів	33
1.4 Висновки до розділу 1	55
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Системний аналіз	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Варіантний аналіз алгоритмів оптимізації.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Удосконалення існуючої мережі постів спостережень.....	70
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО КОНТРОЛЮ СТАНУ СКЛАДОВИХ ДОВКІЛЛЯ	78
3.1 База даних MySQL	78
3.2 База даних Tarantool.....	79
3.3 API	84
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТОК А	96
ДОДАТОК Б	99
ДОДАТОК В	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AISEEM	Аналітико-інформаційна система еколого-енергетичного моніторингу
DM	Data Mining
IAEA	International Atomic Energy Agency
IDW	Inverse Distance Weighting (метод зважених відстаней)
NAME	Nuclear Accident Model
OLAP	Online Analytical Processing
АГІТ	аналітичні геоінформаційні технології
АЕС	атомна електростанція
ААСУ	автоматизована система управління
АП	атмосферне повітря
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ГІМС	геоінформаційна моніторингова система
ГІС	геоінформаційні системи
ГІТ	геоінформаційні технології
ГГО	Головна геофізична обсерваторія
ГДК	граничнодопустимі концентрації
ДЗЗ	дані дистанційного зондування поверхні Землі
ДСМД	Державна система моніторингу довкілля
ДЗ	джерело забруднення
ЕІС	експертно-інформаційна система

ЕІСП	екологічні інформаційні системи підприємства
ЕМПША	екологічний моніторинг приземного шару атмосфери
ЕОМ	електронна обчислювальна машина
ЄЕК	Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй
ЄС	Європейський союз
ЗАЗ	зона активного забруднення
ЗР	забруднююча речовина
ІЕС	інформаційна експертна система
ІТ	інформаційні технології
КМУ	Кабінет міністрів України
КІЗА	комплексний індекс забруднення атмосфери
КС	корпоративна система
КСЕУ	комплексна система екологічного управління
МАГАТЕ	Міжнародне агентство з атомної енергетики
МНС	Міністерство надзвичайних ситуацій
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я
МСАП	моніторингу стану атмосферного повітря
НМУ	несприятливі метеорологічні умови
НПС	навколишнє природне середовище
ОБРД	орієнтовні безпечні рівні дії
ОПЕН	об'єкт підвищеної екологічної небезпеки

ОПР	особа, що приймає рішення
ОУ	об'єкт управління
ПЕС	показник екологічного стану
ПОТ	промислові об'єкти та транспорт
ПСЗ	пост (пункт) спостереження за забрудненням атмосфери
ПЗА	потенціал забруднення атмосфери
ПК	програмний комплекс
ПНО	потенційно небезпечний об'єкт
ПТГС	природно-техногенна геосистема
САПР	система автоматизованого проектування
СЗЗ	санітарно-захисна зона
СЕМ	система екологічного моніторингу
СМНС	система моніторингу навколишнього середовища
СП	споживання повітря
СУНС	система управління навколишнім середовищем
ТЧ	тверді частинки
ТЕЦ	Теплоелектроцентрально
ТАІАС	територіальна автоматизована інформаційно-аналітична система
ЧЗВ	Чорнобильська зона відчуження
ЦГО	Центральна геофізична обсерваторія

ВСТУП

Актуальність теми визначається сучасною тенденцією розвитку наукових методів розв'язання задач забезпечення екологічної безпеки та якості навколишнього середовища за умови реалізації в Україні Концепції національної екологічної політики на період до 2030 року.

Існуючі розробки в системі екологічної безпеки – техногенно-екологічна і соціально-економічна, положення і принципи екологічного управління і корпоративного екологічного менеджменту переважно стосуються аналізу стану еколого-економічної системи з позицій безпеки людини і її оточення, що не забезпечує екологічної ефективності охорони навколишнього природного середовища (НПС). Новий підхід з рішення проблемних питань щодо екологічної безпеки природного середовища повинен забезпечити визначення умов оптимального сполучення техногенного навантаження від промислових підприємств на НПС, зменшення залежності між економічним розвитком і рівнем екологічної небезпеки.

Екологія вирішує одну з найважливіших проблем сучасності – вивчення взаємин людини з навколишнім середовищем. Необхідність цього обумовлена, насамперед, негативними екологічними наслідками за рахунок впливу антропогенних факторів на біосферу.

За спостереженням факторів, що впливають на навколишнє середовище, оцінки фактичного стану й прогнозом стану природного середовища закріплений моніторинг. Моніторинг — процес систематичного або безперервного збору інформації про параметри складного об'єкта або діяльності для визначення тенденцій зміни параметрів.

У науці, техніці, виробництві й нашій побуті широко застосовуються газоаналітичні прилади й системи, використовувані для виміру кількісних

характеристик і параметрів як фізичних, так і технологічних процесів, для збору, передачі й обробки інформації.

У цей час достатнє широке поширення одержали газоаналітичні прилади й системи, засновані на фізичних методах аналізу (оптичні, електрохімічні, фотоколориметричні), контролюючі зміст газоподібних речовин в атмосфері. Одним з характерних якостей такої апаратури є можливість аналізу газових сумішей, що володіють широким розкидом фізико-хімічних параметрів (температури, вологості, складу, запилення, тиску, наявності шкідливих і агресивних середовищ і ін.). Ця обставина дозволяє створювати велику кількість елементів пробопідготовки й газових схем у цілому, що володіють більш досконаліми показниками по надійності й характеру розв'язуваних завдань. Досить важливим у газоаналітичній техніці також є підвищення селективності аналізу або зменшення погрішностей від неінформативних компонентів газової проби, що дозволить здійснювати надійний аналіз багатокомпонентних газових сумішей.

У зв'язку з зазначеним, основна ідея кваліфікаційної магістерської роботи спрямована на розробку інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж.

Для переходу на екологічні засади концепції сталого розвитку пропонується впровадження нового підходу з оцінки якості промислових територіально-об'єктових угруповань на основі моделі соціо-еколого-економічного об'єкта дослідження, яка, по-перше, надається у вигляді *інтегровальної системи* з комплексної оцінки екологічної безпеки; по-друге, передбачає впровадження інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж; по-третє, пропонує застосування *комплексної системи екологічного управління (КСЕУ)*.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної магістерської роботи є вирішення науково-практичної задачі забезпечення оцінювання екологічної безпеки та якості НПС промислових територіально-об'єктових систем з встановленням небезпечних факторів впливу з використанням безпроводних сенсорних мереж в системі підтримки прийняття рішень для управління станом навколишнього середовища.

Основні задачі:

1. Аналіз концепцій і завдань екологічної безпеки, моделей оцінки якості в екологічному управлінні.
2. Обґрунтування ефективних підходів до ідентифікації рівня екологічної безпеки та якості довкілля природно-техногенних геосистем.
3. Удосконалення науково-практичних підходів до розв'язання задачі оптимізації розташування вузлів безпроводних сенсорних мереж для контролю стану параметрів навколишнього середовища.

Об'єктом дослідження є процеси забезпечення екологічної безпеки і оцінювання впливу техногенних факторів промислово-міських агломерацій.

Предмет дослідження є моделі, алгоритми і процедури підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж.

Методи дослідження. Методи системного аналізу; загальна теорія систем; теорія інформації; методи теорії підтримки прийняття рішень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

У кваліфікаційній магістерській роботі сформульовано й вирішено важливу науково-технічну задачу комплексного оцінювання якості навколишнього середовища промислово-міських агломерацій із застосуванням безпроводних сенсорних мереж:

4. Вперше запропоновано підхід до моніторингу екологічного стану промислових об'єктів на рівні ПТГС і територіально-об'єктових угруповань,

що дозволяє встановити механізми саморегулювання рівнів техногенного впливу на НПС за рахунок контролю трансформаційних процесів в техногенних потоках.

5. Удосконалено методичне забезпечення моніторингу стану екологічності природно-техногенних геосистем шляхом впровадження безпроводних сенсорних мереж і забезпечення комплексності прийняття управлінських рішень на рівні «стан систем – процес – стан об'єкта».

6. Дістала подальший розвиток структура система підтримки прийняття рішень щодо оцінки стану безпроводної сенсорної мережі моніторингу з використанням газоаналізаторів на основі аналізу небезпечності впливу викидів небезпечних повітряно-газових сумішей промислово-енергетичних об'єктів.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути використані в системах підтримки прийняття рішень для оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях приземного шару атмосфери для різних промислових підприємств.

Результати роботи забезпечують вирішення наступних задач:

- визначення надходження розподілів небезпечних газів;
- визначення впливу дії газоповітряних сумішей на інші фактори екологічної безпеки;
- візуалізація різноманітних екологічних даних за допомогою графіків, діаграм, електронних карт.

Апробація роботи. Результати дослідження доповідалися на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій» (м. Київ, НУХТ, 25-26 січня 2021 р.).

Структура кваліфікаційної магістерської роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку

використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 101 сторінка.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ І ЗАВДАНЬ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ДОВКІЛЛЯ В ЕКОЛОГІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

Аналіз стану рівня дослідження різних аспектів наукового напрямку «Екологічна безпека» свідчить про відсутність цілісної наукової бази обґрунтування зваженого рішення щодо узгодження системних критеріїв екологічної якості довкілля, які можна було б вважати інтегральними показниками стійкості та сталого еволюційного екологічного розвитку трьох взаємозалежних складних систем – екологічної природної, соціальної, економічної.

1.1. Огляд основних задач і концепцій системи екологічної безпеки

Сталий розвиток вимагає поєднання, гармонізації двох начал: динамічного розвитку людства, «запрограмованого» на поліпшення свого становища, та природного середовища, що, залежно від сукупних дій людей, може набувати від прийнятних до неприйнятних станів. Утримання екологічної безпеки населення та навколишнього середовища в умовах господарської діяльності – складна соціально-економічна проблема, вирішення якої залежить від характеру взаємодії економічних, соціальних, екологічних факторів, що визначають розвиток як окремих держав, так і цивілізації загалом. З одного боку, сучасне суспільство не може задовольнити матеріальні та духовні потреби (безпеку в соціально-економічній сфері) без збільшення масштабів виробництва, яке супроводжується зростанням техногенного впливу на біосферу. З іншого боку, воно вимушене охороняти біосферу (забезпечувати екологічну безпеку), оскільки від стану останньої залежить і ефективність виробництва, і комфортність умов життя людей, їхнє здоров'я і сама можливість існування життя на Землі.

Таким чином, розвиток техносфери, спрямований на підвищення матеріального рівня життя, одночасно призводить до появи певного виду техногенної небезпеки як для здоров'я людини, так і для навколишнього середовища [1]. Концептуальні засади екологічної політики нашої держави сформульовані в документі «Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», затвердженому Постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 р., в Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року, яка базується на принципах: рівності трьох складових розвитку держави (економічної, екологічної, соціальної), що зумовлює орієнтування на пріоритети сталого розвитку, врахування екологічних наслідків під час прийняття економічних рішень; екологічної відповідальності. Останнє пов'язано з збереженням певних властивостей навколишнього середовища і створюваних цілеспрямованою діяльністю людини умов, за яких, з урахуванням економічних, соціальних чинників і науково обґрунтованих допустимих навантажень на об'єкти біосфери, утримується на мінімально можливому рівні ризик антропогенного впливу на природне середовище і негативних змін, що відбуваються в ньому, забезпечується збереження здоров'я та життєдіяльності людей і виключаються віддалені наслідки цього впливу для теперішнього і наступних поколінь [2].

Екологічна безпека як стан захищеності життєво важливих інтересів особистості, суспільства та держави від загроз природного, техногенного та соціального характеру, забруднень внаслідок антропогенної діяльності (аварій, катастроф, тривалої господарської та воєнно-оборонної й іншої діяльності), від природних явищ і стихійних лих віддзеркалює весь спектр проблем національної безпеки у сфері охорони навколишнього природного середовища [3].

Беручи до уваги системний характер проблем екології, їх органічну кореляцію з усіма політичними, соціальними та економічними чинниками, стратегія екологічної безпеки України бачиться як одна з фундаментальних складових національної безпеки держави. За результатами системних досліджень [20] оцінка пріоритетності механізмів екологічної безпеки України встановила таку послідовність за вагомістю чинників: економічні механізми екологічної безпеки (0,321), державна система управління екологічною безпекою (0,273), промислова безпека та технологічні основи екологічно безпечного розвитку промисловості, енергетики і транспорту (0,237), нормативно-правова діяльність у сфері екологічної безпеки (0,142), наукові основи екологічної безпеки (0,113), громадські організації у сфері екологічної безпеки (0,006). В основі такого погляду є загальновизнаний у цивілізованому світі постулат про пріоритетність прав людини на екологічну безпеку, що гарантується комплексом політичних, юридичних, економічних, технологічних і гуманітарних чинників [4].

Співвідношення системно-динамічної і логіко-ймовірнісної складових управління техногенно-екологічною безпекою визначено у такому контексті:

- системно-динамічний підхід з його «зрізом» техногенно-екологічної безпеки безпосередньо тяжіє до економічної діяльності суспільства з формуванням відповідних цілей та виразною «спеціалізацією» з оптимального розміщення його продуктивних сил;
- логіко-ймовірнісний підхід більш відповідає праксеології з її методами ефективною та раціональною людської діяльності за вже усталених орієнтирів [6].

Розглядаючи концепції державної екологічної політики у питаннях екологічної безпеки та інтегрованої безпеки сталого розвитку, можна виділити два основних види невирішених екологічних конфліктів:

1) між людиною та природою (правила і закони природокористування й екологічні конфлікти);

2) конфлікт у суспільних структурах, причиною якого є диференційне ставлення до природи (соціальні і екологічні конфлікти, стресовий чинник).

Таким чином, задачі безпеки визначаються двома аспектами досліджень: 1) оцінка стану природних екосистем і умов забезпечення гомеостазу; 2) забезпечення мінімального ризику для людини з боку техногенно-природних чинників. Концепція сталого розвитку встановлює інтегровану систему безпеки, яка включає техногенно-екологічну і соціально-економічну [2, 6, 9, 10, 11].

1.2. Характеристика сучасних моделей оцінки якості навколишнього середовища і систем екологічного управління

Сталий розвиток біосфери, її нормальне функціонування відповідно до екологічного резерву екосистеми, свідчать про відсутність екологічних загроз. Такий стан природного середовища називають оптимумом безпеки. Зовнішні фактори негативної дії, здатні порушити оптимум екологічної безпеки, є антропогенні чинники, які знижують якість об'єктів навколишнього середовища і призводять до недопустимих змін за межами мінімальних і максимальних критичних величин, всередині яких забезпечується стійкість і не руйнування складових досліджених екосистем [9].

Дослідження останніх років з оцінки якості стану еколого-економічної системи дозволили отримати такі науково-практичні результати.

1. Розв'язання задач на регіональному рівні щодо екологічної безпеки на думку В. М. Шмандія [12] полягає у забезпеченні ефективності та надійності регіонального управління техногенною безпекою. Для

оперативної порівняльної експертної оцінки станів екологічної небезпеки введено індекс техногенної небезпеки об'єкту:

$$T = K_T K_P (K_r \cdot \sum_{i=1}^n \beta_i K_i M_{ia} + K_E \cdot \sum_{i=1}^m L_i M_{ic} + K_Y K_Z \cdot \sum_{i=1}^l N_i M_{io} +),$$

де K_T, K_P – коефіцієнти, які враховують господарську диференціацію територій і кількість населення, підданих негативній дії, відповідно;

K_r, β_i – параметри джерела викидів і рельєф місцевості;

K_E – басейновий коефіцієнт (враховує особливості скидів у водоймища);

K_Y, K_Z – характеристики позиційності місць розміщення відходів;

K_i, L_i, N_i – показники, які враховують вплив на населення і довкілля одиниці маси i -ої шкідливої речовини, присутньої у викидах, скидах, відходах;

M_{ia}, M_{ic}, M_{io} – маси шкідливих речовин, що надходять у довкілля за визначений період часу з викидами, скидами, у складі відходів, відповідно;

n, m, l – кількість інгредієнтів, що міститься у викидах, скидах, відходах.

Формалізовано задача управління екологічною безпекою подана такою стратегією I_Σ , при якій $\frac{dI_\Sigma}{dt} \rightarrow \min$, де t – час і сумарний індекс проявів техногенної небезпеки у регіоні:

$$I_\Sigma = k_N I_N + k_S I_S + k_L I_L + k_0 I_0,$$

де I_N – індекс захворюваності населення в результаті техногенного впливу;

I_S – індекс деградації екосистеми під впливом техногенних чинників;

I_L – індекс трансформації ландшафтів;

I_0 – індекс, що враховує пошкодження технологічних об'єктів;

k_N, k_S, k_L, k_0 – нормовані вагові коефіцієнти відповідних індексів, $\sum_{i=1}^4 k_i = 1$.

Таким чином, екологічна безпека за такою моделлю визначається реалізацією концепції техногенно-екологічної і соціально-економічної безпеки.

2. Питання інтегрованої безпеки вирішені у роботі Г. І. Рудька [13] відповідно до завдань екологічної безпеки людини в межах техногенно-природних геосистем гірничопромислового і нафтогазового комплексу, наукового обґрунтування та реалізації технічних рішень на прикладах гідроресурсів і небезпечних геодинамічних процесів в межах Карпатського регіону України. Робота базується на класичному системному підході у розв'язанні мети дослідження, техногенно-природна геосистема визначена як цілісне системне утворення:

$$S = \{X, Q\},$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ множина елементів x_i системи S ;

Q – множина закономірностей змін елементів x_i , їх взаємодія між собою і з навколишнім середовищем, тобто це сукупність залежностей, які зв'язують елементи x_i системи S [13].

Розв'язання задач ґрунтується на визначенні вірогідності випадкових негативних подій, сумарного показника забруднення ґрунтів і стосується завдань охорони довкілля за концепцією техногенно-екологічної безпеки.

3. На основі концепції техногенно-екологічної безпеки досліджені питання аналізу природно-техногенних систем гірничопромислових комплексів з використанням ретроспективного аналізу статистичної інформації про динаміку розвитку антропогенних змін природних компонентів в межах впливу гірничих комплексів [14]. Принципи керованого

контролю екологічною безпекою гірничопромислового комплексу ґрунтуються на врахуванні вимог в межах державних законів і програмних документів, виділенні і локалізації найбільш процесонебезпечних територій з проведенням оцінки техногенного ризику територій впливу гірничопромислових комплексів.

4. Відповідно до наданих результатів досліджень Я. О. Адаменка [15] розв'язання задач екологічної безпеки значно залежить від впровадження в практику науково-теоретично обґрунтованої процедури оцінки впливів техногенно-небезпечних об'єктів на навколишнє середовище.

Функцію корисності екологічної безпеки запропоновано встановлювати на основі критеріїв проектних рішень, які формуються за регіональними, місцевими (локальними) і нормативними показниками (або критеріями) заданої діяльності. Функція екологічної безпеки надана розрахунком окремих функцій корисності для кожної альтернативи та критеріями за формулою:

$$U_{екол}(A_n) = \sum U_{рег}(C_i^{рег}) + \sum U_{лок}(C_m^{лок}) + \sum U_{мер}(C_o^{мер}),$$

де $U_{екол}(A_n)$ – функція корисності екологічної безпеки n -ї альтернативи за критеріями проектних рішень щодо запропонованої діяльності;

$U_{рег}(C_i^{рег})$ – функція корисності за i -ми критеріями оптимізації проектних рішень на регіональному рівні;

$U_{лок}(C_m^{лок})$ – функція корисності за m -ми критеріями оптимізації проектних рішень на локальному рівні;

$U_{мер}(C_o^{мер})$ – функція корисності за o -ми критеріями містобудівельних, санітарних і екологічних обмежень у межах території впливу запропонованої проектом діяльності.

Кожна з означених функцій корисності розраховується згідно з критеріями нормування впливу на природне, соціальне і техногенне середовища і забезпечує необхідний рівень екологічної безпеки за концепцією сталого розвитку на основі соціально-економічної безпеки.

5. Допустима екологічна безпека визначається за критичними значеннями антропогенних навантажень [16]. Відповідно до своєї еластичності система зберігає здатність повертатися у початковий стан після припинення дії антропогенних навантажень чи забезпечення їх допустимого рівня завдяки:

- створенню науково обґрунтованих маловитратних технологій, методів і засобів підвищення екологічної безпеки об'єктів і систем, які використовують органічне паливо для виробництва теплової та електричної енергії [17], теоретичних і технічних рішень з розробки ресурсозберігаючих технологічних процесів та устаткування у виробництві поверхнево-активних речовин [18];

- вдосконаленню наукових основ і методів регулювання екологічної безпеки комунального водопостачання, спрямованих на зниження ризиків його негативного впливу на людину і довкілля [19];

- розробки концептуальної еколого-економічної моделі техногенно-навантажених урбанізованих екосистем, яка враховує тенденції якісних і кількісних залежностей параметрів системи при управлінні екологічною безпекою з визначенням оптимального рівня екологічного ризику [20], що забезпечується відповідністю екологічної ефективності проекту P_a (відношення величини екологічного ризику R_{fin} після реалізації проекту до рівня прийняттого ризику R_{norm} для даного регіону: $P_a = \frac{R_{fin}}{R_{norm}}$) нормативним обмеженням.

Відповідно до результатів аналізу сучасних напрямків розв'язання задач, пов'язаних із оцінкою екологічного стану складної соціально-еколого-економічної системи і визначення рівня якості навколишнього середовища, за останніми роботами з екологічної безпеки Шмандія В. М. (Харків, 2004) [12], Рудька Г. І. (Сімферополь, 2005) [13], Шкіца Л. Е. (Івано-Франківськ, 2006) [14], Адаменка Я. О. (Івано-Франківськ, 2006) [15], Варламова Г. Б. (Харків, 2007) [17], Подустова М. О. (Харків, 2007) [18], Василенка С. Л. (Харків, 2007) [19] і Руденка С. В. (Миколаїв, 2007) [20] та інших відзначено малу екологічну ефективність прийнятих рішень на рівні регіонального і національного управління безпекою за умови вирішення локальних територіальних завдань з охорони навколишнього середовища. Існуючі підходи з якісної і кількісної оцінки рівня екологічності стану природно-антропогенних систем не визначають умов досягнення і збереження системного гомеостазу, засобів екологізації порушеного внутрішнього простору систем і навколишнього середовища.

Аналіз сучасного рівня дослідженості теоретико-практичних аспектів напряму «Екологічна безпека» свідчить про відсутність цілісної наукової бази обґрунтування зваженого управлінського рішення з метою узгодження системних критеріїв екологічної якості, які можна вважати інтегральними показниками стійкості, та сталого еволюційного розвитку трьох взаємозалежних складних систем – екологічної природної, соціальної, економічної.

Зазвичай таке положення закономірно для антропоцентризму при розв'язанні екологічних задач. Удосконалення системи екологізації усіх сфер життєзабезпечення і в першу чергу економічної системи призвело до трохи незвичайної ситуації, коли турбота підприємств про навколишнє середовище дозволила одержати реальний дохід. Інвестування екологічно благополучного підприємства стає економічно привабливим. «Екологічно

чисте» виробництво відзначається більш високою оцінкою продукції серед споживачів і партнерів, і визначає умови відсутності «розбирань» з державою й громадськістю. При проведенні заходів щодо екологічного захисту знижується ймовірність виникнення техногенних катастроф і зменшуються масштаби їх наслідків. Такий підхід до господарювання викликав попит щодо нових інформаційних систем управління, які згодом одержали назву *системи управління навколишнім середовищем, або системи екологічного менеджменту* [21].

Управління – це функція організованих систем, що забезпечує збереження їх певної структури, підтримка режиму діяльності, реалізацію програм і цілей; з позицій господарської діяльності – це цілеспрямована діяльність, за допомогою якої людина організує і впорядковує відповідно до своїх інтересів елементи зовнішнього середовища – суспільства, живої й неживої природи, техніки. При цьому термін «управління» традиційно широко застосовується не як переклад з англійського терміна «менеджмент», а самостійно, характеризуючи якийсь процес або процедуру; стосовно формальних організацій, коректніше застосовувати термін «менеджмент» [22, 23].

На сьогодні *екологічне управління* – це управління, обмежене потребами захисту навколишнього середовища; управління природою з метою підвищення її здатності адаптуватися і протидіяти сучасному виробництву, пристосування природи до виробництва; це управління у сфері суспільної свідомості, культури, суспільних відносин (екологічне управління є проблемою політики).

Менеджмент – це наука, яка вивчає управління людьми в організаціях (на підприємствах): принципи, методи, функції й технології управління, способи формування й досягнення цілей організації (підприємства) з ефективності її (його) роботи й збільшення прибутків [21].

Практика вживання терміна «менеджмент» у спеціальній літературі розширила сферу його розуміння й визначення як процесу управління; науки про управління; галузі знань про управління соціально-економічними процесами; мистецтва управління і управлінських навичок; органу суспільного управління.

Менеджмент класифікується відповідно до типу досліджуваного об'єкта.

1. Загальний менеджмент вивчає основні принципи й закономірності управління (функції управління, управлінський цикл, стратегічне управління, мотивацію, лідерство); стандартні його функції – планування, організація, мотивація й контроль.

2. Спеціальний менеджмент розглядає управління специфічними об'єктами. Одним з видів спеціального менеджменту є екологічний менеджмент – сукупність елементів, з якими взаємопов'язана екологічно значуща господарська діяльність, що має просторові й часові межі [21, 22].

У системі екологічної безпеки екологічний менеджмент визначається як процедура, керований контроль за екологічно безпечною діяльністю підприємства та реалізація запропонованих природоохоронних рішень з метою збереження навколишнього середовища та захисту населення від негативних впливів і пов'язаних з ними захворювань. Об'єктом спеціального екологічного менеджменту є деякі види спеціальних процесів, наприклад, менеджмент екологічно орієнтованих інвестиційних потоків, менеджмент відходів і т.п. [21, 22].

Екологічний менеджмент базується на системі стандартів ISO 14000, за якою визначають його основні функції: обґрунтування екологічної політики підприємства; планування екологічної діяльності; організація внутрішньої і зовнішньої екологічної діяльності; управління персоналом; управління впливами на навколишнє середовище та використання ресурсів; внутрішній

екологічний моніторинг і екологічної аудиту; аналіз і оцінка результатів екологічної діяльності; перегляд і вдосконалення існуючої системи екологічного менеджменту.

Екологічний менеджмент – спеціальна система управління, яка має в основі регулятивний процес, спрямований на збереження якості навколишнього середовища, забезпечення нормативних соціальних, екологічних і економічних параметрів [21–23]. Екологічний менеджмент – це стандартизована система управління охороною навколишнього середовища на підприємстві, яка ґрунтується на положеннях міжнародних стандартів ISO серії 14000 і забезпечує стійкий розвиток підприємства з урахуванням вимог раціонального використання природних ресурсів і екологічної безпеки; концептуальних основ системи управління якістю відповідно до міжнародного стандарту ISO 9000-1. Це тип управління, принципово орієнтований на формування і розвиток екологічного виробництва й екологічної культури життєдіяльності людини; побудований на соціально-економічному і соціально-психологічному мотивуванні гармонії взаємин людини з природою [22].

Предметом екологічного менеджменту є економічний механізм природокористування, організаційна структура, екологічний маркетинг, персонал, екологічно значуща інформація, екологічна й корпоративна культура, поведінкові мотиви, взаємодія із зовнішнім середовищем і громадськістю, та інші складові частини системи управління.

Функції екологічного менеджменту взаємопов'язані між собою і поділяються на загальні – визначення мети, прогнозування, планування, організація, ухвалення рішення та ін.; спеціальні, наприклад технічна, – створення й впровадження маловідходних технологій і т.п.; екологічний облік і т. ін., які оперують різними показниками діяльності. Удосконалюючи систему екологічного менеджменту на основі принципів міжнародних

стандартів ISO серії 14000, підприємство вносить вклад не тільки в певні категорії управління [24, 25], але й сприяє поліпшенню іміджу організації, оснований на екологічній відповідальності й екологічній спроможності [26].

У складі загальної системи менеджменту підприємства має організаційну структуру, елементи, механізми, процедури й ресурси, необхідні для керування екологічними аспектами його діяльності за допомогою розробки, досягнення цілей екологічної політики, її перегляду й коригування. Окремі складові менеджменту не зв'язані з інформаційними технологіями виробництва (ІТ). Для виробництва ІТ – корпоративні системи, орієнтовані загалом на багаторівневе адміністративне реформування й приведення управлінської структури підприємства у відповідність до стандартів ISO серії 14000, спрямованих на охорону навколишнім середовищем як система «Environmental management».

Екологічний менеджмент розглядається як міждисциплінарна наука з розробки оптимальних варіантів конкурентоспроможних управлінських рішень щодо природоохоронної діяльності [25]. Згідно з І. Карагодовим [23] має місце новий термін – «екологічний менеджмент природокористування», визначаючи його як «сукупність організаційно-управлінських і економічних інструментів регулювання взаємин між суб'єктами й об'єктами керування». Інструментарій системи управління якістю повністю може бути застосований до систем управління охороною навколишнього середовища, тим більше, що при формуванні систем управління якістю передбачено дотримання певних законодавчо закріплених екологічних вимог [21, 27].

Група екологічних показників продукції, які характеризують шкідливі впливи на навколишнє середовище при експлуатації й споживанні цієї продукції, входить до номенклатури показників, рекомендованих стандартами ISO 9000 для оцінки якості. Основними критеріями оцінки екологічності продукції є фактичні рівні її екологічної чистоти й екологічної

безпеки, обумовлені вмістом, концентрацією видалених небезпечних речовин, що повинно враховуватися на етапах прогнозування та проектування продукції. Оцінка екологічності продукції здійснюється з метою запобігання випуску й поставки споживачеві продукції, яка не відповідає вимогам екологічної безпеки й чистоти [28, 29].

Основними етапами проведення оцінки екологічності продукції є:

- збір і аналіз необхідної інформації;
- визначення напрямків впливу продукції на навколишнє середовище;
- підготовка даних для прогнозування зміни стану об'єктів довкілля;
- оцінка екологічних наслідків випуску продукції в планованому обсязі;
- узагальнення й реалізація результатів оцінки.

Вихідна інформація для екологічної оцінки якості продукції містить такі дані: галузь застосування, експлуатаційні технічні і технологічні дані, склад і характеристики вихідних матеріалів, сировини і стан навколишнього середовища в регіонах виробництва і її споживання.

За даними аналізу інформації встановлюють наявність властивостей продукції стосовно шкідливого впливу на навколишнє середовище, види, характер і напрямки дії. Виявлені негативні впливи виробництва і споживання продукції оцінюють за географічним охопленням, інтенсивністю зміни рівня і тривалості дії шкідливих факторів – короткочасна, безперервна, періодична, аварійна; характером дії – пряма, непряма, кумулятивна; рівнем небезпеки.

В остаточному підсумку одержані результати аналітичного аналізу з екологічною оцінкою продукції позначаються й на екологізації виробничого процесу, оскільки визначаються відповідні заходи з уникнення негативної дії джерел викидів і скидань токсичних речовин у навколишнє природне середовище. Використовувані в системах управління якістю методи вхідного

контролю сировини й матеріалів, які надходять на підприємство, безпосередньо застосовують для складання виробничого екологічного балансу в системі управління охороною навколишнього середовища при обліку матеріальних потоків і контролю продукції на «виході».

Визначення й аналіз дієздатності екологічних механізмів управління є основою організації екологічного контролінгу як системи новітніх інформаційно-аналітичних інструментів реалізації екологічного менеджменту. Контролінг – нове явище в теорії й практиці сучасного управління, яке розвивається на стику менеджменту, економічного аналізу, планування й управлінського обліку [30]. Він являє собою функціонально відособлений напрямок екологічної роботи на підприємстві, пов'язаний з реалізацією фінансово-економічної функції у менеджменті для прийняття оперативних і стратегічних екологічних рішень.

Формування контролінгу пов'язане, з одного боку, з розвитком його функцій як такого при застосуванні у практиці керування бізнесом. З іншого боку, є необхідність узагальнення й систематизації різних інформаційних потоків у системі екологічного менеджменту, пошуку адекватних інструментів і механізмів.

До теперішнього часу, незважаючи на усе більш активне застосування екологічного контролінгу в практиці екоуправління передових компаній, зберігаються істотні розходження в його теоретичному трактуванні. Так, ряд авторів під назвою екоконтролінгу просто поєднують такі інструменти, як екологічні інформаційні системи, екологічний облік і аудит, індикатори екологічних результатів діяльності підприємства, оцінка екологічного життєвого циклу продукції. Інші ототожнюють його з екологічними інформаційними системами [25].

Згідно з А. П. Градовим [31], контролінг – це новітня концепція ефективного керування фірмою для забезпечення її довгострокового

існування на ринку. На думку Т. Іконнікова [32], контролінг – це метод, який забезпечує ефективність діяльності підприємства на ринку; а відповідно до С. Фляківа [33] система контролінгу – це не винахід, а нове сполучення методів і принципів виробничо-господарської діяльності, яке дозволяє в іншій площині подивитися на проблему довгострокового існування підприємства в умовах ринку.

Івашкевич В. Б. вбачає контролінг як новітній напрямок теорії і практики обліку, контролю й аналізу господарської діяльності підприємства [34].

Майєр Е. [35] вважає, що контролінг являє собою сукупність методів оперативного й стратегічного управління: обліку, планування, аналізу й контролю, які поєднуються на якісно новому етапі розвитку ринкових відносин на Заході в єдину систему, функціонально спрямовану на досягнення певної мети. Контролінг у широкому розумінні являє собою систему забезпечення виживаності підприємства у двох аспектах: короткостроковому – оптимізація прибутку, довгостроковому – збереження й підтримка *гармонічних відносин* і взаємозв'язків даного підприємства з *навколишніми зовнішніми сферами*: природною, соціальною, господарською.

Манн Р. і Майєр Е. [36] вважають, що в цей час контролінг визначають як систему управління процесом досягнення кінцевої мети і результатів діяльності фірми, тобто в економічних відносинах з деякою часткою умовності, як систему керування прибутком підприємства. Вони відзначають, що на першій стадії впровадження контролінг діє як сигнальна система, яка сповіщає про виникнення негативних відхилень, щоб вчасно вжити протидіючі заходи.

Данилочкина Н. Г. [37] розуміє під контролінгом функціонально відокремлений напрямок економічної роботи на підприємстві, пов'язаний з

реалізацією фінансово-економічної функції в менеджменті для прийняття оперативних і стратегічних управлінських рішень.

Виходячи з аналізу трактувань понять контролінгу, його цілей, функцій і завдань, доцільним є виділення його у методології екологічного управління як окрему складову, що відповідає за еколого-економічну якість соціально-економічного об'єкта, наприклад у вигляді екоконтролінгу. Така система екологічного планування й обліку, екологічного контролю, аналізу й аудита сприяє прийняттю альтернативних рішень при оперативному й стратегічному управлінні підприємством за умови пріоритетності екологічної якості при досягненні еколого-економічної ефективності територіально-об'єктних угруповань.

Своєрідним інформаційним ядром екоконтролінгу є екологічні інформаційні системи підприємства (ЕІСП), які здійснюють збір і підготовку всіх даних, що стосуються екології. У процесі збору й систематизації інформації про діяльність підприємства розв'язуються два завдання: по-перше, аналіз даних з метою вдосконалення організації й керування підприємством; по-друге, надання оцінки екологічності соціально-еколого-економічного розвитку.

Загальноприйнята концепція екоконтролінгу в екологічному менеджменті визначає необхідність виконання трьох функцій, пов'язаних з координуванням:

- 1) інформаційного забезпечення (виявлення й обробка даних, релевантних для охорони навколишнього середовища);
- 2) планування фірми (розробка стратегій і оперативних заходів);
- 3) контролю (порівняння фактичних і планових показників).

Інформаційним інструментом реалізації екологічних засад менеджменту вважається екологічний облік, який у розвинених країнах до кінця не сформувався і його еволюція триває, включаючи в себе такі вимоги:

1) рахунки підприємства повинні відбивати відношення до навколишнього середовища, вплив пов'язаних із природоохоронною діяльністю витрат, ризиків, зобов'язань на фінансове становище підприємства;

2) інвестори для прийняття інвестиційних рішень повинні проаналізувати інформацію з екологічних заходів і витрат щодо природоохоронної діяльності;

3) менеджери визначають й перерозподіляють природоохоронні витрати з метою правильної оцінки продукції, прийняття інвестиційного рішення на реальних витратах і вигодах;

4) екологічний облік повинен забезпечувати стійкий розвиток на основі дотримання принципу екологічної ефективності, яка при цьому визначається на основі точної інформації щодо природоохоронних витрат, заощадження і впливу господарської діяльності на навколишнє середовище;

5) законодавство, банки, інвестори, громадськість і конкуренція (у тому числі міжнародна) стимулюють надання звітності з природоохоронних заходів і підвищення їх ефективності.

Виходячи з розглянутих вище складових систем забезпечення екологічного рівня управління в умовах сталого розвитку, визначено переадресування екологічних задач в область економічного аналізу екологічних витрат і зобов'язань, звітності про ефективність природоохоронної діяльності.

Таким чином, екологічне управління згідно з наданим вище аналізом визначається взаємодією концепцій соціально-економічної і техногенно-екологічної безпеки, системи екологічного менеджменту як частин загальної системи менеджменту підприємства, екологічного контролінгу та екологічного обліку, спрямованих на розв'язання задач охорони навколишнього середовища. Отже, на будь-якому рівні організації об'єкта

система управління надана еколого-економічним аспектом з пріоритетністю економічної складової, в якому загалом виділяють такі прийняті основні категорії:

1. Ініціатива: зусилля підприємства, спрямовані на підтримку ініціатив з розвитку комерційної діяльності й формування взаємин із громадськістю.

2. Освіта: підприємство повинне надати можливості для трудового колективу й молоді в галузі підготовки й перепідготовки висококваліфікованих фахівців відповідно до вимог світового ринку та національної економіки.

3. Культура й мистецтво: підтримка фірмою культури та мистецтва й організації творчої діяльності з метою підвищення якості життя і суспільства.

4. Добровільна екологічна діяльність: підтримка й реалізація підприємством різних напрямків діяльності в галузі охорони навколишнього середовища для збільшення природного різноманіття екосистем, що сприяє підвищенню якості життя забезпечення населення і зміцнення його здоров'я в умовах екологічно чистого природного і соціально-економічного середовища.

Поєднання трьох аспектів існуючої екологічної безпеки з пріоритетністю екологічної складової є, таким чином, потребою розв'язання задач раціонального природокористування і гармонійного соціально-еколого-економічного розвитку, необхідністю формування інтегративної системи управління з обґрунтуванням теоретичних положень екологічного стійкого розвитку.

1.3. Аналіз впровадження в екологічне управління інтегративних принципів

Інтегровальними чи корпоративними звичайно називають системи управління, що визначають як: 1) об'єднання, союз, спілка, товариство; 2) сукупність осіб з юридичного боку, об'єднаних для досягнення будь-якої мети. Функціонування таких систем забезпечується значною кількістю складових одиниць в організаційному, інформаційному аспектах. Виходячи з цього, корпоративні системи – це системи якості у відповідності зі стандартами ISO серії 9000, і системи екологічного менеджменту відповідно до ISO серії 14000, системи CALS-технологій на основі стандартів ISO 10303 і ISO 15531, системи автоматизованого проектування (САПР), і системи технологічного проектування, автоматизовані системи керування підприємством (ERP-системи), такі, як SAPR/3, BAAN і їм подібні, системи виробничого планування, системи промислової автоматики й контролю (SCADA-системи) та ін.

Світова практика переконливо свідчить, що корпоративні системи – потужний інструмент підвищення продуктивності праці й ефективності виробництва. Наприклад, впровадження такої організації систем якості супроводжується зниженням сумарних витрат за рахунок їх перерозподілу, тобто інвестицій для запобігання дефектів. Впровадження ідеї корпоративності в економічну систему знайшла позитивний відгук і поширилася на всі галузі господарської діяльності завдяки зростанню ефективності виробництва.

Застосування ідеї інтегровальної основи для соціальної і екологічної систем, які здебільшого вважаються витратними, визначено необхідністю підвищення їх екологічної ефективності. Забезпечення оптимального розподілу ресурсних і фінансових потоків з метою формування «корпоративних екологічних фондів» для інвестування регіональних природоохоронних спільних проектів українських франчайзів й франчайзерів

з розвинених країн відповідає затвердженим пріоритетам державної політики щодо екологічної безпеки [38].

Формування корпоративних екологічних фондів обумовлено необхідністю розв'язання таких задач:

1) державне капітальне фінансування на охорону природи здійснюються з держбюджету й призначене для інвестування великих державних або регіональних програм і наукової, заповідної і т. п. видів діяльності, які не мають інших джерел фінансових надходжень;

2) екологічні фонди, засновані на екологічних платежах, є, у першу чергу, регіональними, а територіальна структура підприємницьких систем, що забезпечують цикли «первинне виробництво–переробка–зберігання–реалізація», може не збігатися з адміністративно-територіальними одиницями, у межах яких розвивається регіональне природокористування;

3) виділення фінансів з екологічних фондів на природоохоронні заходи приймаються місцевою законодавчою владою, а напрямки і контроль цільового їх використання здійснюється місцевими органами виконавчої влади;

4) практика консолідації територіальних екологічних фондів у бюджети різних рівнів призводить до істотного зменшення фінансування природоохоронних заходів, тому що кошти витрачаються на інші цілі, особливо в умовах дефіцитності як державного, так і місцевих бюджетів.

Таким чином, інтегрування екологічних фондів для інвестування регіональної природоохоронної діяльності дозволяє не тільки відновити, а й розширити практики фінансування екологічних програм. Корпоративні екологічні фонди виділяють частину своїх коштів як пайові інвестиції, спрямовані на покращення навколишнього середовища, наприклад, у муніципальні цінні папери для інвестування розвитку природоохоронної

інфраструктури і на пайове фінансування природоохоронних служб [21–32, 38].

Використання такого підходу до рішення екологічних проблем передбачає зміни в інформаційному забезпеченні, перехід до розвинених інформаційних корпоративних мереж із включенням компонентів екологічного менеджменту. Популярними середовищами розробки стали OLAP (Online Analytical Processing) і деякі інші системи. Технології OLAP зв'язують аналітичну й фізичну частини досліджених екологічних систем, надають найбільш удалі алгоритми побудови інформаційних систем екологічного моніторингу й управління екологічною безпекою, дозволяють на практиці реалізувати систему підтримки прийняття рішень з використанням методу аналітичного ієрархічного процесу (метод Сааті) і теорії нечітких множин.

Прийняття рішення ґрунтується на значеннях екологічних пріоритетів і є основою для розв'язання конкретних завдань, наприклад:

- рейтинг клієнтів – оцінка перспективи укладання договору, наприклад, про поставки на основі аналізу екологічного стану потенційного партнера;

- аналіз ризиків – вибір менш ризикованого проекту відповідно до вимог екологічних наслідків його реалізації;

- розподіл ресурсів – моделювання рейтингу екологічних проектів, результатом якого є процентне співвідношення розподілених засобів/ресурсів;

- планування від досягнутого – моделювання екологічної ситуації через рік при незмінності умов (фінансування, екологічні показники й т. д.);

- планування бажаного майбутнього – встановлення рейтингу дій для здійснення найбільш перспективних і екологічно безпечних сценаріїв;

- комбіноване планування – комплексний аналіз на основі планування від досягнутого екологічного результату й бажаного рівня екологічної безпеки;
- вибір оптимальної стратегії – комплекс задач з аналізу екологічних ризиків і планування рівнів екологічної безпеки, розподілу ресурсів і пов'язаних з цим еколого-економічних ризиків;
- аналіз «ефективність – вартість» – вибір максимальної відносної оцінки – «еколого-економічна ефективність – екологічний збиток»;
- пошук істотних факторів – процес поетапного відкидання факторів, які суттєво не впливають на екологічний стан підприємства;
- діагностика сценаріїв розвитку ситуації – визначення економічного розвитку з екологічною оцінкою як виробництва (сертифікація), так і об'єктів навколишнього середовища;
- побудова залежностей економічних і соціально-екологічних показників – аналіз вихідних даних моніторингу (економічного, екологічного тощо), геоінформаційних джерел.

Аналіз переваг існуючих і пропозиції нових інтелектуальних систем екологічного менеджменту й моніторингу на основі методів прийняття і підтримки управлінського рішення надано у роботах МДТУ ім. Н. Е. Баумана [21, 32, 39].

Інформаційну систему на підприємстві, з якою працює велика кількість людей, називають корпоративною системою. Інтегровальний базис організаційної та інформаційної складової діяльності дозволяє знизити витрати роботи за рахунок упорядкування управлінських процедур, прискорити доступ до інформації, автоматизувати проведення розрахунків при збільшенні швидкості й зменшенням ймовірності виникнення помилки при обліку фінансів, готової продукції, сировини, персоналу, устаткування,

постачальників, клієнтів, екологічної документації і даних системи екологічного моніторингу [22].

Наявність різнорідних завдань для різних організацій визначила потребу в класифікації корпоративних систем (КС). Розрізняють КС з управління виробничими запасами MRP (Material Requirement Planning); управління конкретним виробництвом ERP (Enterprise Resource Planning); робота з клієнтом CRM (Custom Relationship Management). Зважаючи на переваги корпоративної структури і позитивні зрушення при впровадженні її в екологічний менеджмент, враховуючи позиції з екологічного управління А. Б. Качинського [10], пропонується надати систему екологічної безпеки у вигляді інтегрованої структури з метою виконання вимог сталого розвитку з урахуванням екологічних пріоритетів.

1. Будь-яка система екологічної безпеки – результат взаємодії її елементів, визначений більше, ніж цільність цих частин, надання територіально-об'єктового угруповання у вигляді моделі системного об'єкта з відповідними матеріально-енергетичними зв'язками – термодинамічними потоками.

2. Взаємодія елементів системи екологічної безпеки визначає її структуру, а сама множина елементів визначає склад, який відповідно до концепції сталого розвитку включає три системи – екологічну, економічну і соціальну. Існування системи екологічної безпеки визначається її взаємодією з навколишнім середовищем, тобто зовнішніми для самої системи чинниками, що відповідає сприйняттю її як квазізакритої термодинамічної системи.

3. Безпечне функціонування екологічної системи залежить від складу її елементів, їх взаємодії і від впливу зовнішніх щодо неї чинників. Об'єктами захисту суспільства за критеріями безпеки мають бути:

– системи навколишнього середовища і їх складові, структура зв'язків з соціальними критеріями безпеки, які визначають ступінь захищеності суспільства та його складових від зовнішніх і внутрішніх загроз, обмежують дію негативного фактора відповідно до оцінки рівня екологічності довкілля;

– структура зв'язків між навколишнім середовищем і суспільством, яка обмежує негативний вплив екологічних процесів з метою збереження структурної стійкості екосистем з урахуванням їх найслабшої ланки.

4. Вирішення завдання підтримки і гарантованості безпеки життєдіяльності людини, суспільства, держави і навколишнього природного середовища пов'язане з ідентифікацією для кожного з об'єктів набору чинників, вплив яких призводить до появи небажаних ефектів, з встановленням критеріїв, за допомогою яких можна визначити ступінь небезпеки негативного впливу.

5. Встановлення екологічної безпеки як дії, спрямованої на досягнення і підтримку гомеостазу системи. Інтегроване управління визначається комплексом заходів, який дозволяє підтримувати для збереження системи екологічні параметри у допустимих межах, з метою встановлення динамічної стійкості складних саморегулюючих систем.

Таким чином, урахування вимог до системи екологічної безпеки відповідно до світової парадигми екологізації усіх сфер життєдіяльності людини і сталого розвитку світової спільноти потребує розробки нової концепції екологічного управління, яка б дозволяла індивідуальний еволюційний розвиток екологічної природної, економічної і соціальної складових життєзабезпечення об'єднати на спільній пріоритетній екологічній основі. За методологією комплексної оцінки екологічності як критерію безпеки стійкого розвитку соціально-еколого-економічна система надається у вигляді цілісного екологічного систем-системного об'єкта дослідження,

однозначність оцінки якості якого забезпечується використанням імовірнісно-ентропійного підходу і ризик-аналізу.

Довготривалий негативний вплив на природні системи спричиняє порушення їх суттєвих складових, вичерпання ресурсної бази виробництва і міграції населення у пошуках нового джерела ресурсів. На будь-якій території через деякий час починають діяти екологічний фактор розвитку і розміщення виробництв (фактор екологічних витрат), який обмежує економічну активність. Задачі економічного розвитку, що є фундаментом зростання соціально-економічної системи, узгоджуються з вимогами збереження допустимого рівня екологічності навколишнього середовища чи стають другорядними порівняно з питаннями якості екологічних систем. За таких умов екологізації виробництва актуальними є підходи і методологія екологічного менеджменту.

На даному етапі визначення екологічних пріоритетів з оцінки якості функціонування екологічної безпеки першочерговим стає створення такої системи управління, яка б удосконалювала існуючу систему з встановленням переваг екологічних факторів при вирішенні соціально-економічних питань і прийнятті управлінських рішень.

Система управління соціальними системами передбачає розгляд задач стосовно функціонування соціальної й економічної систем. Останні є досить розгалуженими системами і з багатофункціональною сферою діяльності, поєднаних цілеспрямованістю їх механізмів на досягнення соціального і економічного благополуччя людини.

Екологічне управління ґрунтується на таких фундаментальних складових, як екологічні закони і закономірності, методологія системності в законодавчій сфері і регулювання в екологічній політиці. Основою екологічного управління повинен стати екоцентризм як система управління, спрямованого на гармонізацію і збалансований розвиток екосистем і

суспільства. Науково-теоретичною основою формування єдиного еколого-економічного управління є кібернетика як наука, що вивчає загальні закономірності управління в природі й суспільстві.

Отже, є всі науково-теоретичні підстави для об'єднання в систему управління як рівних і взаємоузгоджених складових систем екологічного управління, економічного і соціального управління або управління соціально-економічною системою. Така інтегровальна структура дозволить гармонізувати всі процеси еколого-соціально-економічного характеру і відношення між людиною і природою на екологічних пріоритетах сталого розвитку з урахуванням практичних положень екологічного менеджменту і розробкою:

- 1) спільного фундаменту для гармонізації взаємодії екологічної, соціальної і економічної складових систем управління;
- 2) методології контролю в системі управління і прогнозування наслідків впровадження інтегровальної системи екологічного управління;
- 3) інформаційної бази для впровадження екологічних пріоритетів в управління сталим розвитком.

Таким чином, перехід на новий рівень управління екологічною безпекою пов'язаний з систем-системним рівнем досліджень на основі розробки методології комплексної оцінки якості навколишнього середовища відповідно до теорії сталого розвитку систем і умов екологічних пріоритетів.

Аналіз наукових досягнень у розвитку управління екологічною, соціальною і економічною системами показав, що на цей час існують декілька корпоративних систем управління. Вони мають певні результати з реалізації ідеї гармонізації соціально-еколого-економічних задач в умовах стійкого і сталого розвитку соціально-економічної системи. Так, корпоративний екологічний менеджмент (КЕМ) являє собою систему управління будь-якої форми економічної діяльності (виробництво,

організація) у тих напрямках, які безпосередньо або опосередковано належать до взаємовідносин підприємства з навколишнім природним середовищем [48].

У теоретичному плані КЕМ має в основі традиційні економіко-теоретичні й еколого-економічні парадигми, у тому числі неокласичної мікроекономіки й економіки добробуту. З точки зору теоретико-практичного аналізу КЕМ і становлення його як складної системи управління важливе значення мають так звані стек-холдери. Представниками стек-холдерів є покупці продукції, торгівельні партнери, фінансові інститути, місцеве населення, органи влади, неформальні організації. Головним пунктом у діяльності стейк-холдерів з захисту екологічних інтересів у сфері бізнесу є формування в суспільстві екологічної свідомості завдяки інформованості та впровадження екологічної політики на всіх рівнях економіки (рис.1.1) [21, 48].

Система КЕМ передбачає розвиток практичних напрямків екологічного управління, пов'язаних з такими екологічними сферами, як екологічний маркетинг, екологічний аудит, екологічний бухгалтерський облік. Суттєвий недолік даної корпоративної системи – це врахування «інтересів» природи для розвитку економічної системи й управління якістю природного середовища та його охороною, нівелювання соціальних питань, пов'язаних з екологією людини та суспільства і основними суто екологічними пріоритетами безпеки.

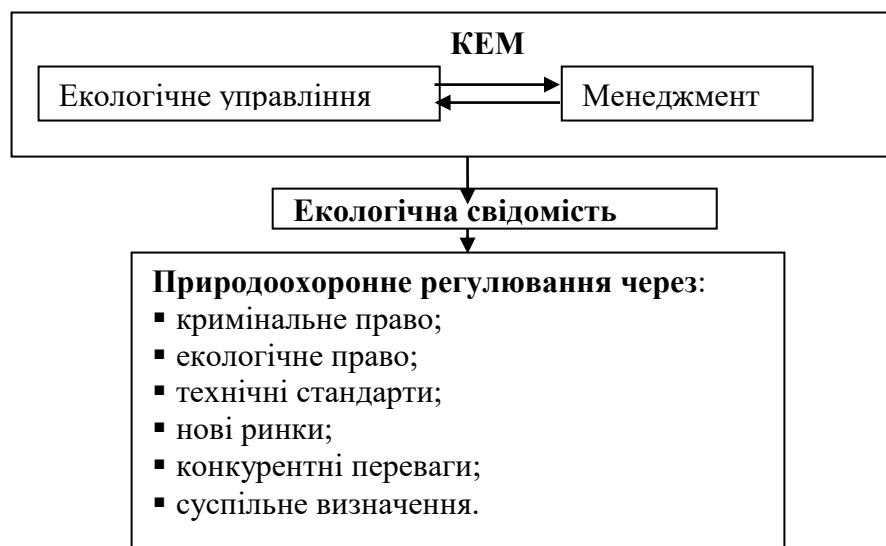


Рис. 1.1. Структура корпоративного екологічного менеджменту

Гармонізація у системі «людина – природа» розглядається в контексті екологічних стандартів, цілей та пріоритетів управління за умови збалансованого розвитку. Основою збалансованого розвитку є паритетність відносин у тріаді людина–господарство–природа, забезпечуючи перехід до такого способу взаємодії суспільства і природи, який характеризується як епоха ноосфери. Збалансований розвиток узагальнює в собі процес виживання й відновлення генофонду нації, активізацію ролі кожної людини в суспільстві, забезпечення її прав і свобод, збереження природного середовища, формування умов для відновлення біосфери та її локальних екосистем, орієнтацію на зниження рівня антропогенного впливу на довкілля й гармонізацію розвитку людини і природи. Гармонізація в управлінському контексті означає активну діяльність, спрямовану на подолання екологічного розладу і досягнення екологічної узгодженості. Екологічна стратегія гармонізації є прагненням оптимально узгоджувати взаємозалежність суспільства і природи, досягнення соціально-екологічної рівноваги за умови управління людиною не природою, а насамперед потребами у ресурсах і їх раціональним використанням, екологічною свідомістю й культурою [49].

З позиції сучасних поглядів, застосування моделі активного екологічного управління припускає досягнення «загальної екологічної відповідальності менеджменту», тобто включення питань ОНС, екологічної безпеки, ресурсозбереження в усі області й напрямки діяльності й відповідних управлінських рішень (включаючи розробку продукції, удосконалення технології, реконструкції виробництва, трудові відносини, формування іміджу корпорації й т.д.).

Основою корпоративного екологічного управління є система корпоративного партнерства, яка вважається і являє собою потрібну взаємодію корпорацій, уряду і суспільства, де створюється сфера державних інтересів і зобов'язань; сфера суспільних інтересів і зобов'язань; сфера корпоративних інтересів і зобов'язань (рис. 1.2) [49].

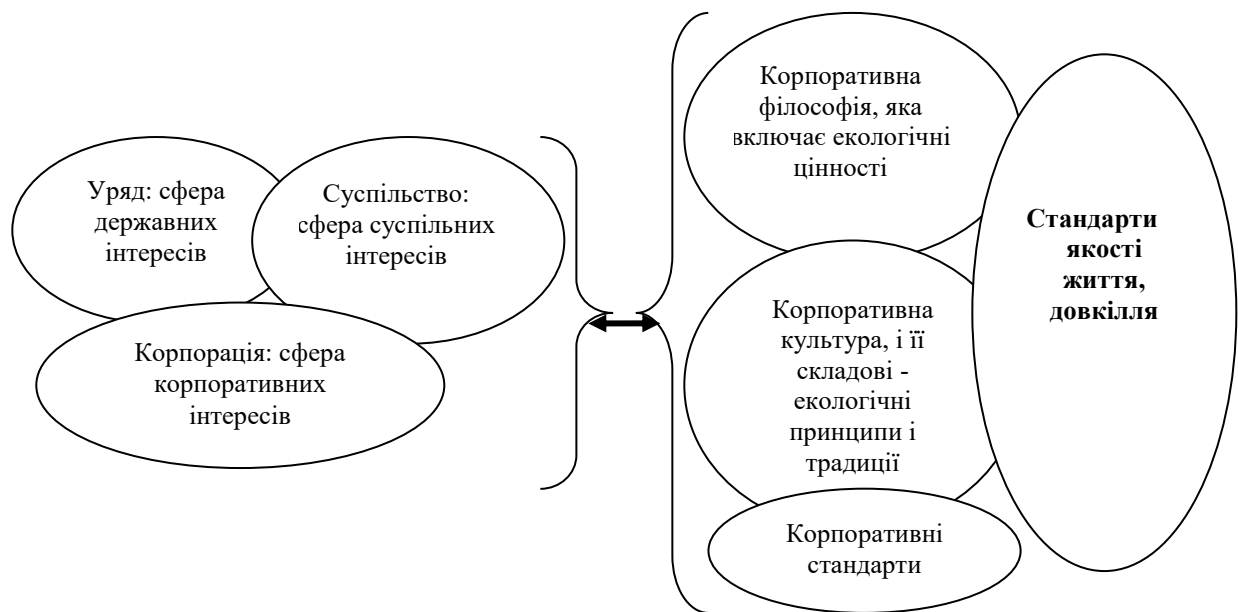


Рис. 1.2. Система корпоративного партнерства екологічного управління

Такий підхід передбачає особливі механізми для корпоративного управління, які називають корпоративною ідентичністю. Цей механізм

містить корпоративну філософію, корпоративну культуру і корпоративні стандарти. Механізм забезпечення корпоративної ідентичності передбачає системний аналіз філософії і культури управління з позицій збалансованості його функціональних складових (управління власністю, фінансове управління персоналом, екологічне управління тощо). У цільовій екологічній програмі природоохоронні заходи відповідно до розв'язання задач безпеки об'єктів навколишнього середовища піддають ранжуванню за їх економічною ефективністю.

Розрахунки необхідних матеріальних ресурсів, капітальних і поточних витрат на природоохоронні заходи і визначення їх економічної ефективності стосується трьох основних взаємозалежних напрямків аналізу розвитку соціально-економічних систем з оцінки економічних показників розвитку продуктивних сил, соціальних процесів; виробничої структури.

Для першого напрямку встановлюється оцінка розміщення виробничих об'єктів (промислових, сільськогосподарських, лісових та ін.); види й обсяг продукції, застосовувана технологія; якість і кількість використаних ресурсів (матеріальних, енергетичних, трудових); ефективність виробництва; культура виробництва; кількість відходів і шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Для соціального напрямку визначають зміну виробничих відносин, правові норми, структуру розподілу національного доходу, у тому числі відрахування на соціальні потреби, охорону здоров'я, освіту, розвиток мистецтва, виховання, охорону довкілля, розвиток туризму; співвідношення виробничої і невиробничої сфер, рівень військових витрат тощо.

Розвиток виробничої структури передбачає оцінку її стану відповідно до вимог ОНС та інфраструктури, зміни технологій, культури виробництва, випуску нової продукції з орієнтацією на підвищення екологічної якості [49].

Таким чином, зображена система екологічного управління надана як об'єднання систем ресурсозбереження і управління соціальними системами на основі стратегії корпоративної ідентичності, яка має екологічні аспекти у вигляді екологічної культури. Даний підхід щодо розробки інтегрувальної системи управління позначився створенням в Україні системи управління раціональним використанням ресурсів, яка не відповідає за своїм змістом як вимогам Європейського регламенту 1836/93, так і міжнародним та державним стандартам серії ISO 14 000 (ДСТУ ISO 14 000).

Таким чином, вище наданий аналіз корпоративних систем показав доцільність використання систем-системної узгодженості між різнорідними об'єктами у досягненні загальної мети. Розв'язання екологічних задач будь-якого рівня (локального, мікро- і макрорівня) для таких систем можливо за умови створення універсальної оцінки якості різнорідних складових. У роботі запропоновано використання теорії ентропії, негентропії й інформації, знань фізико-хімічної природи самовільних процесів для самоорганізуючих систем з метою визначення методики імовірно-ентропійного ризик-оцінювання екологічного стану і процесів при дослідженні системного об'єкта.

Сутність застосування систем-системного моделювання об'єкта з метою встановлення комплексної оцінки екологічної якості систем (КЕС) в деякій мірі відповідає сучасній теорії компартментальних структур екосистем [11, 50, 51, 52, 53–64], що визначає зв'язок роботи з напрямками досліджень в екології.

Отже, екологічність, яка є мірою безпеки в складових інтегрувальної системи і її в цілому, стає центральним принципом гармонійного стану екологічного простору у часі. Взаємодія трьох складових в єдиному комплексі за моделлю КЕС передбачає розвиток цільності, будь-яке порушення екологічної відповідності буде мати наслідки для стану всієї

системи. Це обумовлено адитивністю показників, які визначатимуть екологічний стан систем-системного об'єкта.

За наданою методологією комплексного екологічного оцінювання передбачено впровадження і єдиного критерію оцінки якості у вигляді індикатора екологічності складових – *екологічного компаратора* (ЕК) [50]. Відповідно до значення ЕК ідентифікують стан дослідженої системи, визначають співвідношення властивостей складових системи з її природним станом.

Для прийняття рішення щодо задач оцінки екологічності системного об'єкта доцільно скористатися методом Т. Сааті (МАІ). Він є замкненою логічною конструкцією і забезпечується простими правилами аналізу складних проблем, які призводять до більш обґрунтованої відповіді, порівняно з методами, що базуються на лінійній логіці [65, 66]. МАІ вирішує багатокритеріальні завдання у складній обстановці з наявністю ієрархічних структур, які вміщують помітні та непомітні фактори, визначені у характеристиці метода А. Б. Качинським [10]. До того ж застосування МАІ дозволяє включати в ієрархії усі наявні у дослідника даної проблеми знання та факти.

Якщо Z_1 – головна мета функціонування об'єкта, яка повинна відповідати оптимальності екологічного стану екологічної, соціальної і екологічної складових інтегрувальної системи, а виконання Z_2, Z_3, Z_4 – окремим цілям їх функціонування, то маємо ще додаткові альтернативи досягнення основної мети A_5, A_6, A_7, A_8 . Згідно з алгоритмом методу Сааті, на базі даних переваг рішення можливе при знаходженні ваги P_i для всіх підпорядкованих головній меті цілей Z_j , де $j \in L$ – множина цілей, що забезпечують виконання мети Z_1 (рис. 1.3).

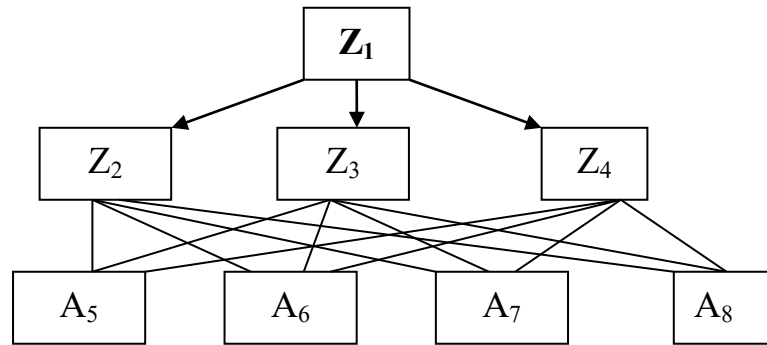


Рис. 1.3. Дерево цілей для моделі інтегровального екологічного управління

Знайдена за допомогою матриці переваг і шкала оцінки переваг вага P_{ih} є локальною вагою, а для оцінки глобальної ваги використовують рівняння

$$P_i = \sum_{h \in U(i)} P_{ih} \times P_h,$$

де $U(i)$ – множина цілей, для якої інші є підпорядкованими;

P_{ih} – локальна вага певної мети i відносно більш узагальненої мети $h \in U(i)$;

P_h – глобальна вага даної цілі h .

Такий підхід доцільний при необхідності встановлення суми величин, які впливають на головну мету дослідженої задачі прямо або через окремі, безпосередньо пов'язані з нею проміжні цілі.

Екологізація здійснюється через систему організаційних заходів, інноваційних процесів, реконструкцію сфери виробництва, технологічну конверсію, раціоналізацію природокористування, трансформацію природоохоронної діяльності. Основною спрямованістю процесу екологізації є подолання екодеструктивного впливу на природні системи з боку соціально-економічної системи за п'ятьма напрямками:

- забруднення;

- порушення ландшафтів;
- прямий вплив на організм людини;
- вплив на характеристики людини як особистості;
- прямий вплив на тварин і рослин.

Таким чином, дестабілізуюча дія збоку антропогенезу стосується трьох складових інтегровальної системи [50]. Дія техногенних факторів закономірно виводить з рівноваги природну екологічну, соціальну і економічну системи, що дестабілізує об'єкт в цілому. Якщо метою системного утворення є врівноважена гармонійна взаємодія (гомеостаз) складових з урахуванням вимог екологічно чистого середовища, то рівень екологізації пропонується визначати за такими показниками: відносні за статистичними спостереженнями щодо наявності чи відсутності екологічно «гарячих місць», інформаційно-енергетичні щодо напрямку процесів деструктивного і стабілізуючого характеру, ентропійні як міра досягнення стаціонарності стану і відповідності екологічності [67].

Екологізація виробництва безпосередньо пов'язана з екологічним менеджментом, як основи національної програми оздоровлення навколишнього природного середовища. Вона містить частину офіційної адміністративної організації сталого стану управління, обумовленого внутрішнім розвитком і взаємодією з навколишнім середовищем цієї системи (рис. 1.4) [48].

Структура системи корпоративного екологічного менеджменту (КЕМ) передбачає систем-системну організацію відповідно до:

- 1) включення в корпоративну екологічну стратегію (політику), екологічні цілі і задачі; екологічну оцінку та стратегічне екологічне планування з інформаційною підтримкою і

2) взаємодії з системою навчання персоналу, планом дій з охорони навколишнього природного середовища (ОНПС), екологічної безпеки і ресурсозбереження; оперативним контролем і моніторингом, екологічним аудитом і висновком аудиторського оцінювання про його ефективність [21].

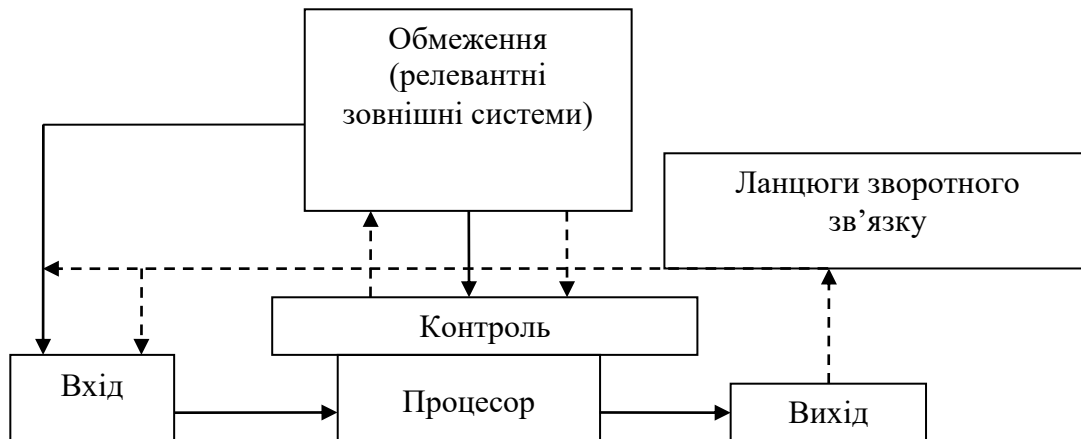


Рис. 1.4. Основні компоненти системи сталого управління

Усі стандартні системи КЕМ, що мають місце на сьогоднішній день, базуються на загальних принципах сучасної екологічної політики і управління ОНС, включаючи принципи стійкого розвитку і впровадження найкращих технологій, відповідальності і обережності. У практиці сучасного екологічного менеджменту ведучу роль відіграють дві системи міжнародних стандартів: система, прийнята в Євросоюзі, – Схема екологічного менеджменту і аудиту – Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), і система міжнародних стандартів ISO 14000. Основними парадигмами КЕМ є антропоцентричний (морально-етичний) підхід; фінансово-економічний підхід, функція загальної системи управління якістю і безпекою (ISO 9000); біосферний підхід як індустріально-екологічний, що реалізується з урахуванням науково-технічної еволюції.

Аналіз міжнародного сучасного стану проблем екологічного розвитку суспільства встановив такі недоліки системи управління якістю навколишнього природного середовища і КЕМ:

1) пріоритетність питань ОНПС у виробництві, невирішеність питань екологізації і екологічної якості при плануванні економічного розвитку;

2) складна структура упорядкування в організації системи управління якістю навколишнім середовищем, неврахування головних екологічних пріоритетів, передбачених системою КЕМ;

3) розв'язання екологічних питань у сфері управління виробництвом;

4) ієрархічна підпорядкованість у системі екологічного менеджменту.

Ці питання позитивно вирішуються завдяки впровадженню екологічних пріоритетів в концепцію сталого розвитку, що враховано при розробці методології комплексного екологічного оцінювання систем, які визначені як складні термодинамічні структури, що підтримують самостійний розвиток кожної окремої системи з урахуванням потреб стійкого стану систем-системного об'єкта.

Застосування систем-системної організації складного об'єкта дозволяє уникнути складностей багатокритеріальних задач оптимізації завдяки впровадженню єдиної оцінки екологічності стану її складових на основі запропонованої методології імовірно-ентропійного підходу і ризик аналізу.

Це в свою чергу потребує визначення можливостей:

1) застосування формально-логічних методів для формування методології аналізу систем-системних моделей;

2) теоретичного обґрунтування переваг системних досліджень як інструментарію зняття протиріччя ієрархічних структур у екологічному моніторингу при вирішенні екологічних проблем;

3) розробки математичної моделі КЕС, визначення оптимального стану.

Державна система екологічного моніторингу України – складна ієрархічна система, яка передбачає створення різнорідних інформаційних потоків, не пов'язаних в єдине ціле, контроль яких покладено на різні за інтересами державні структури [49]. Така організація інформаційної системи надає екологічну оцінку тільки окремих об'єктів навколишнього середовища і вирішує екологічні питання здебільше локального охоронного характеру.

Основним недоліком такого підходу є отримання дискретної інформації, а не безперервної узагальнюючої оцінки стану НПС. Застосування кооперативних зв'язків між соціальними, екологічним і економічними системами дозволяє сформувати інтегровальну інформаційну систему, встановити єдину оцінку якості всього простору «систем-системний об'єкт – НС» завдяки застосуванню оператора, який являє собою компаратор – комплексний вимірювач якості. Він визначає стан інтегровальної системи, її складових відповідно до прийнятого еталону чи нормативного стану завдяки ентропійної функції S , яка в початковий момент (відсутності дестабілізуючих факторів) дорівнює нулю $S_0 = 0$.

Перевагою такого підходу є уникнення багатокритеріальних задач, які характеризуються множиною принципів оптимальності, що передбачає рух по траєкторії від задачі з одним початковим станом до задачі з іншим початковим станом. До числа динамічно стійких з використовуваних при цьому принципів оптимальності належить оптимальність за Парето і Слайтером [70].

Систем-системний рівень дослідження дозволяє уникнути необхідності оцінки «екологічних» рішень за декількома незалежними критеріями. Кожна з складових системного об'єкта виходить із стану рівноваги за умови зміни значень S і E . Згідно з умовами рівноваги термодинамічних систем функція S

характеризується відносним максимумом, тобто при відсутності в системі скритих чи «зв'язаних» факторів (негентропії) порушення стаціонарного обміну інформацією (речовиною, теплотою) із зовнішнім середовищем. При наявності внутрішніх і зовнішніх дестабілізуючих потоків у системі передбачено аналіз перебігу самовільних процесів відповідно до самоорганізаційних механізмів стабілізації природного стану.

Таким чином, використання системних досліджень, формування моделі складного об'єкта з урахуванням кооперативних (інтегровальних) зв'язків на підставах формально-логічних методів, а саме синтезу, індукції і дедукції, доцільне для розв'язання задач екологічного розвитку навколишнього середовища, як основи для прийняття оптимального управлінського рішення стосовно відповідності розвитку природних, соціальних і економічних систем їх природному рівноважному стану та екологічній збалансованості.

Об'єкти реального світу є складними системами, поведінку яких неможливо передбачити з необхідним ступенем детальності, враховуючи певний набір ключових параметрів. Таким чином, маючи справу зі складною системою, треба взяти до уваги факт, що повне дослідження її неможливе і заздалегідь треба обмежитися колом питань. У нашому випадку навіть ця проблема ускладнюється, бо мова йде про поєднання в об'єкті трьох складних динамічних систем, взаємодіючих з навколишнім середовищем. Застосування кооперативних зв'язків між складовими об'єкта і подання його у вигляді інтегровальної системи дозволяє збалансувати гармонічний розвиток природної, соціальної, економічної складових компонент, зменшити кількість параметрів оптимізації і використати елементи синергетики, термодинамічного аналізу щодо реалізації екологічної пріоритетності з прийняття управлінського рішення [50, 71].

Одна з вагомих переваг ентропійної функції є її універсальність і безпосередній зв'язок з інформацією. Будь-яка модель екологічної системи

подається у вигляді імітаційного відображення реальних процесів навколишнього середовища. З цієї точки зору можна стверджувати, що модель КЕС як імітаційна система, являє собою сукупність моделей, які відображають перебіг складних фізико-хімічних процесів, об'єднаних спеціальною інформаційною системою для оперативного аналізу екологічного стану і оцінки екологічності дослідженого соціально-еколого-економічного об'єкта моніторингу.

Мета побудови імітаційної системи інтегровального утворення визначена необхідністю розв'язання екологічних прикладних задач – прогнозування поведінки системного об'єкта в певних умовах взаємодії природної екосистеми, соціальної і економічної систем і дотримання вимог екологічної безпеки, управління з ціллю підтримки екологічної рівноваги в системному об'єкті.

Застосування імовірнісно-ентропійного підходу при визначенні загального стану системи за даними окремих локальних процесів і явищ розглянуто на прикладі досліджень перебігу трансформаційних процесів у системі ґрунт. Відомо, що ґрунт як об'єкт природних екосистем є центральною і найбільш складною частиною. Саме у ґрунті концентруються усі потоки речовини і енергії, які перерозподіляються між усіма іншими складовими системи, і де відбувається формування їх подальшого руху в економічну і соціальну системи.

Ґрунт є своєрідним депо усіх потоків речовини, зокрема забруднювачів. Це спричиняє виникнення умов перебігу фізико-хімічних процесів, що здатні вивести систему з рівноваги. Систем-системний рівень досліджень застосовано на практиці для екологічної оцінки стану техногенно-навантажених ґрунтів за даними моніторингу територій Зміївського району, що піддаються впливу викидів Зміївської ДРЕС, і отриманих автором в дослідженнях 1994 – 2004 р.р.

Отримані практичні результати вимірів концентрації важких металів у зразках досліджених ґрунтів проаналізовані завдяки пакету програм «STATISTICA 5.5». Це дозволило визначити кореляційні залежності збільшення вмісту тих чи інших металів за умови присутності інших забруднювачів. Важкі метали, які є полівалентними, залежно від умов середовища виявляють як кислотні, так і основні властивості. Такі елементи, як Cr, V, Mo, W та інші аніоногени, утворюють відповідні кислотні форми, які доволіно взаємодіють з катіонними формами важких металів з утворенням нерозчинних сполук. Це приводить до зменшення міграційної здатності забруднювачів, а ентропія системи досягає максимального значення, яке у подальшому не змінюється, тобто $\Delta S = 0$, і система-ґрунт знаходиться у стані рівноваги. Підтвердженням цього висновку є відсутність у зразках рослин з досліджених територій забруднювачів у надлишковій кількості. За результатами статистичної обробки вихідних даних моніторингу одержані такі кореляційні залежності:

Pb- ґрунт – ($r = 0,85$) – Cr – ґрунт;

Zn- ґрунт – ($r = 0,88$) – Cu – ґрунт і ($r = 0,80$) Ni – ґрунт;

Sr – ґрунт – ($r = 0,83$) – V – витяг;

Cu – ґрунт – ($r = 0,88$) – Zn – ґрунт, а також при $r = 0,65$ з V – ґрунт;

цікавою є кореляція Cr– витяг – ($r = 0,83$) – Ni – витяг [76].

Таким чином, фізико-хімічні процеси у ґрунтах, антропогенно-забруднених хімічними елементами різної хімічної природи, приводить до стабілізації у системі, яка за термодинамічними критеріями визначена як $|S| \rightarrow \max, dS = 0$, тобто при наявних джерелах забруднення можна підтримувати стабільний стан об'єкта завдяки управлінню складом викидів і скидів.

Оскільки ґрунт – невід’ємна частина природної екосистеми, то зв’язок її з іншими системами відповідно до синергетичного принципу самоорганізації системи може привести до зупинки надходження речовини, енергії в іншу систему. За цих умов природна екологічна система знаходиться у стані рівноваги, оскільки зменшується до нуля потік забруднюючої речовини у рослини і т. д. Завдяки цьому забруднення, тобто потік речовини зовні, не надходить у соціальну систему (важкі метали з продуктами харчування не потрапляють в організм людини, не спричиняють порушень функціонування організму), тобто маємо $dS = 0$. Економічна система залишається у незмінному стані, оскільки не порушуються взаємозв’язки з природною і соціальною системами – до неї не застосовуються управлінські заходи, її стан відповідає умовам рівноваги систем-системного об’єкта. За умов відсутності зовнішнього притоку речовини і енергії зовні і при $dS_i = 0$ маємо стан рівноваги для складної системи – $dS = 0$.

Таким чином, аналіз існуючих підходів у розв’язанні задач з оцінки безпеки при управлінні складними організованими ієрархічними системами і досвіду використання ентропійної функції при моделюванні міських систем [79, 80] показав можливість визначення екологічних пріоритетних задач управління соціально-еколого-економічними системами, доцільність застосування імовірісно-ентропійних характеристик для оцінки стану складних територіально-об’єктових досліджень з метою встановлення як факторів дестабілізації, так і регулюючих механізмів екологічності.

1.4. Висновки до розділу 1

За даними проведеного аналізу досвіду формування, впровадження і функціонування систем екологічного управління, екологічного менеджменту, корпоративного екологічного менеджменту у розділі:

1) обґрунтована доцільність застосування інтегровальних зв’язків при моделюванні складних територіально-об’єктових структур в системі

екологічної безпеки як необхідність впровадження пріоритетності екологічної ефективності при прийнятті управлінського рішення з економічних, соціальних і екологічних аспектів за концепцією сталого розвитку;

2) визначена необхідність запровадження інтегрувальної основи при формуванні моделі об'єкта дослідження, надання його у вигляді екологічного за сутністю й систем-системного за структурою утворення з метою гармонізації систем екологічного, соціального і економічного управління на екологічних пріоритетах з врахуванням позитивного досвіду і переваг функціонування системи корпоративного екологічного менеджменту і управління;

3) запроваджено сутність «комплексна оцінка екологічності» в систему безпеки для визначення позитивних екологічних змін від реалізації управлінського рішення відповідно до концепції сталого розвитку суспільства за пріоритетністю його екологічної ефективності;

4) проаналізовані існуючі моделі і підходи з розв'язання задач екологічної безпеки щодо управління складними організованими ієрархічними системами [79, 80] і показана доцільність впровадження:

– імовірно-ентропійної оцінки екологічності територіально-об'єктових угруповань, наданих у вигляді систем-системних моделей;

– основ синергетики, теорії ентропії та інформації, методу компараторної ідентифікації для рішення завдань гармонізації соціальних, економічних і екологічних аспектів в об'єктах управління екологічною безпекою (рівняння (1.1) і (1.2)).

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

2.1 Системний аналіз

2.1.1 Вибір принципового підходу до системного аналізу

Як показує вся історія технічного прогресу, створення складних технічних систем і споруджень відбувається, як правило, на основі двох підходів, що принципово різняться:

– «спадне» проектування (або проектування « зверху-униз», або «декомпозиційне» проектування), пов'язане з реалізацією «з нуля» деякого глобального інноваційного проекту в рамках єдиної концептуальної ідеї (наприклад, так створювалися перші зразки ракетно-космічної техніки, атомні підводні човни й ін.);

– «висхідне» проектування (або проектування « знизу-нагору», або «композиційне» проектування), засноване на модернізації раніше створених (успадкованих) технічних систем і проектних розв'язків і їх агрегуванні у вигляді компонентів у якісно іншу, а виходить, набагато **більш** складну систему (наприклад, створення кластерних архітектур із уже функціонуючих автономних серверних платформ).

2.1.2 Вибір і обґрунтування основних принципів системного аналізу досліджуваної системи

Принципи системного аналізу – це деякі положення загального характеру, що є узагальненням досвіду роботи людини зі складними системами. Різні автори викладають принципи з певними відмінностями, оскільки загальноприйнятих формулювань на теперішній час немає. Однак, так чи інакше всі формулювання описують ті самі поняття.

Найбільше часто, до системних зараховують наступні принципи: принцип кінцевої мети, принцип виміру, принцип єдності, принцип

зв'язності, принцип модульності, принцип ієрархії, принцип функціональності, принцип розвитку, принцип комбінації централізації й децентралізації, принцип обліку невизначеності й випадковостей. Зневажаючи цими принципами при проектуванні будь-якої нетривіальної технічної системи, у тому числі й програмної, неодмінно приводить до втрат того або іншого характеру, від збільшення витрат у процесі проектування до зниження якості й ефективності кінцевого продукту.

2.1.3 Принцип кінцевої мети

Представимо проектувану програмну систему у вигляді «чорного ящика» (рис. 2.1), тоді вхідні дані – вектор X – будуть містити в собі опис вхідних параметрів, величини вимірів, кількість вимірюваних величин і безпосередня наявність зв'язки із джерелом. Керуючі параметри системи – вектор Z – це режим видачі результатів: скорочена форма (тільки сигнали на виходах елементів схеми із вказівкою часу встановлення) або повна (з тимчасовими діаграмами для всіх ланцюгів схеми). Вихідні дані – вектор Y – це результати моделювання, представлені відповідно до режиму їх видачі, а також бібліотека моделей вистави результатів, моделі вистави результатів, збережені в окремі файли.

Тоді для виконання рівності $Y=F(X,Z)$ проектувана система повинна виконувати наступні функції (у сукупності, що представляють собою функцію F):

- Якісні й кількісні показники параметрів вимірюваних компонентів газової суміші;
- Визначення основних параметрів навколишнього середовища (температура, вологість, тиск);
- Первинна обробка результатів виміру мережним мікроконтролером;
- Передача результатів обробки по каналу GSM.

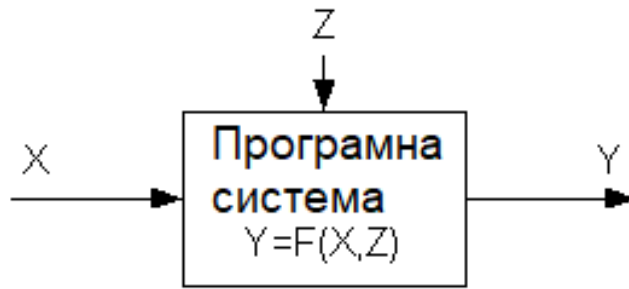


Рисунок 2.1 - Системотехнічна вистава програмної системи у вигляді «чорного ящика»

2.1.4 Принцип єдності

Згідно із принципом єдності, у системі виділяються підсистеми, кожна з яких виконує повністю або частково деякі функції проектованої системи. Сукупність цих систем виконує всі функції системи.

На підставі функцій проектованої системи, представлених вище, у ній можна виділити наступні підсистеми:

- Підсистема обладнання пробопідготовки УПП;
- Підсистема вимірювального перетворювача ИП;
- Підсистема обладнань обробки інформації УОИ;
- Підсистема вихідного приладу ВП.

2.1.5 Принцип зв'язності

Сукупність підсистем проектованої програмної системи і їх зв'язків – даними, якими ці підсистеми обмінюються один з одним і із зовнішнім середовищем, – утворює її структуру. Структура проектованої системи представлена на рис. 2.2.

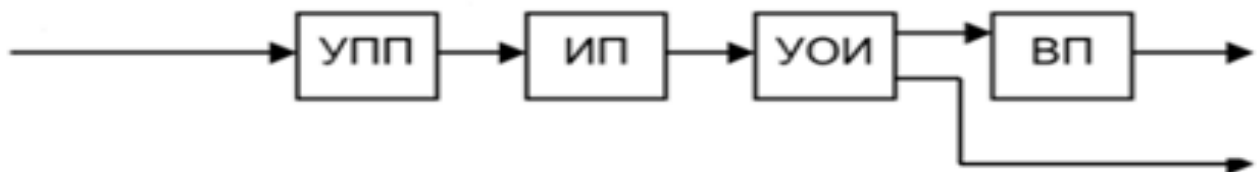


Рисунок 2.2 - Структура проектованої системи

2.1.6 Принцип модульності

У проєктованій системі доцільно виділити наступні модулі:

- модуль ПОП (первинної обробки перетворювачів);
- модуль забезпечення зв'язності;
- модуль програмної обробки.

2.1.7 Принцип ієрархії

Згідно із цим принципом у комбінації з методологією об'єктно-орієнтованого програмування, у проєктованій системі можна виділити дві ієрархії об'єктів:

- сімейство об'єктів, що ставляться до апаратної частини;
- сімейство об'єктів, що ставляться до програмної частини.

Ієрархія об'єктів апаратної частини представлена на рис. 2.3.

Ієрархія об'єктів програмної частини представлена на рис. 2.4.

2.1.8 Принцип функціональності

Функції системи в цілому розглянуті у зв'язку із принципом кінцевої мети. Розглянемо функції, вхідні й вихідні дані виділених підсистем.

1) Основною функцією підсистеми первинних вимірювальних перетворювачів, є збір даних, знятих з вимірників первинних

2) перетворювачів. Вихідні дані цієї підсистеми є вхідними для наступної підсистеми, що містить блоки обробки, нормування й комутації сигналів.

3) Підсистема забезпечення зв'язності передає дані системі, що включає в себе обладнання підсилювачів сигналів, процесори аналогових сигналів, для перекладу сигналів і інформації у вже прийнятній формі системі «Вихідного приладу».

4) Основною функцією останньої підсистеми, є надання результатів обробки інформації адресатові призначення, у нашій випадку це канал GPRS

інтернет.

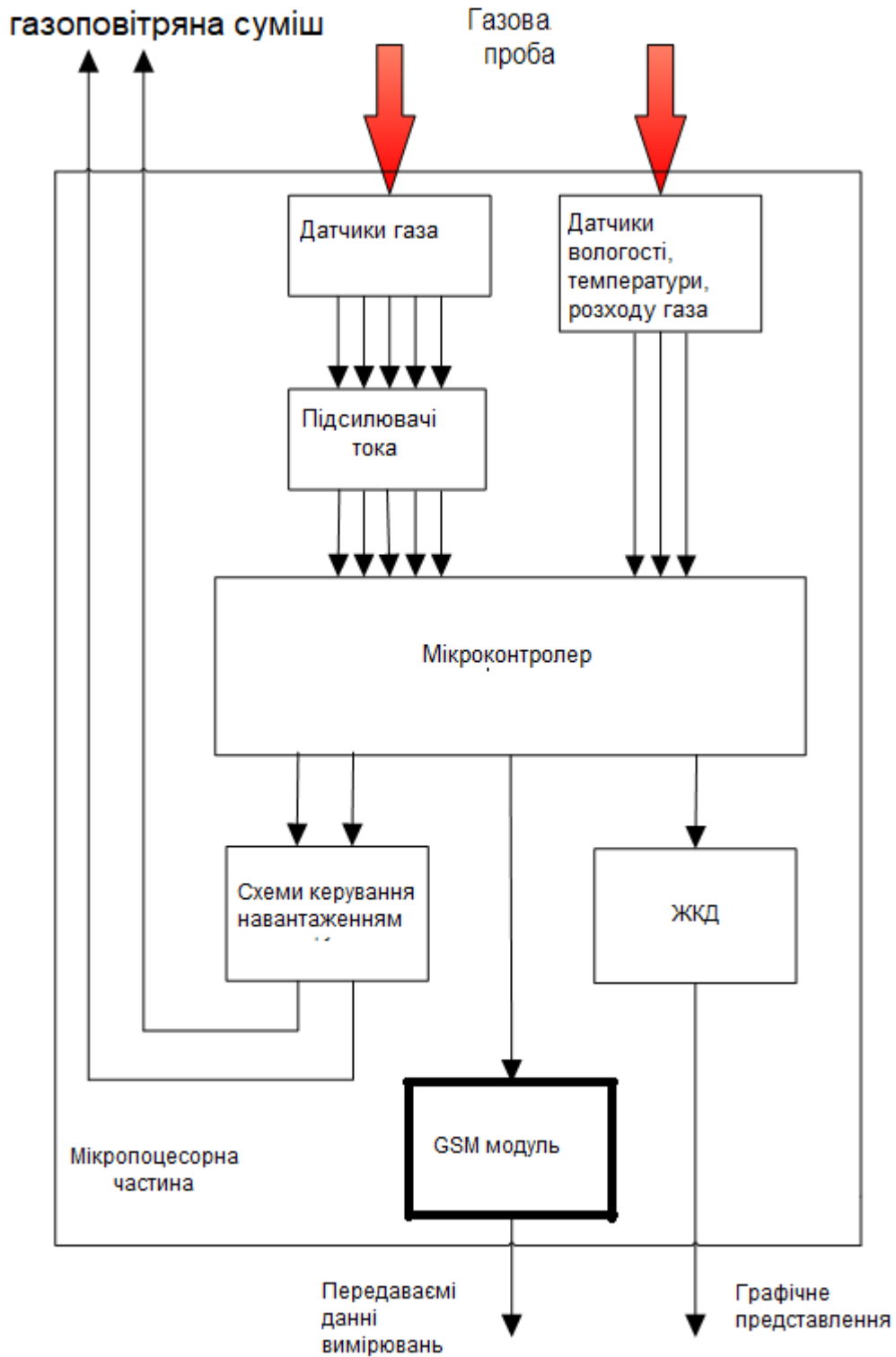


Рисунок 2.3 – Ієрархія апаратної частини

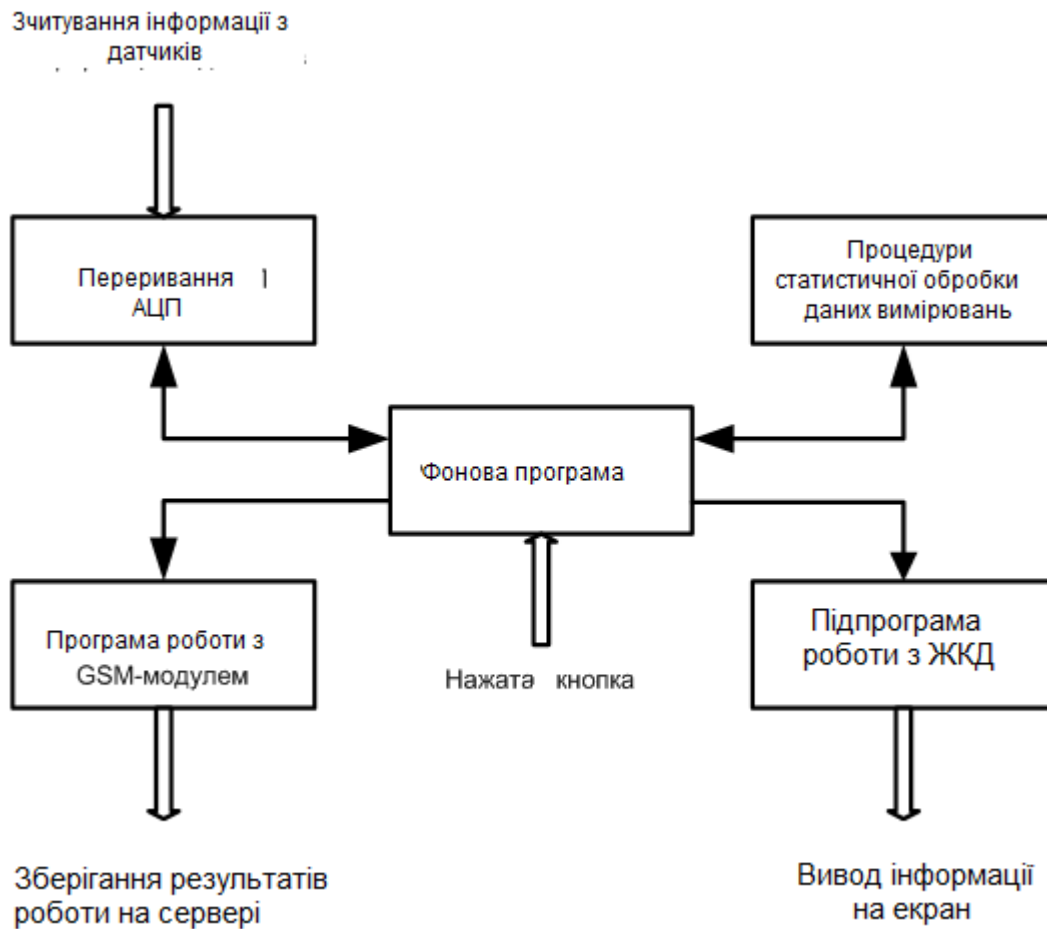


Рисунок 2.4 – Ієрархія програмної частини

2.1.9 Принцип розвитку

Проектована система може бути розширена в такий спосіб:

- розширення можливостей більшої кількості вимірюваних параметрів газової суміші, шляхом додавання нових датчиків;
- розширення предметної області, тобто додавання можливості використання системи не тільки для комплексного контролю ПДК токсичних газів у робочій зоні, але й контролю ДВК вибухонебезпечних газів;
- розширення функціонування системи завдяки об'єднанню подібних газоаналітичних систем у єдину мережу із безпроводною архітектурою;
- розширення можливостей системи за рахунок додавання

виконавчого обладнання керування технологічним устаткування об'єктів контролю (системи вентиляції, звукові й світлові сигналізації):

- відновлення адаптера інтерфейсу USB.

2.1.10 Принцип комбінації централізації й децентралізації

У безлічі виділених підсистем можна виділити кілька підмножин (можливо пересічних), які будуть мати **досить** високий ступінь автономності від інших підмножин. Наприклад, можна виконати декомпозицію в такий спосіб:

- {підсистема ПОП};
- {підсистема забезпечення зв'язності};

Сполучні елементи, такі як АЦП, аналоговий комутатор, підсилювачі й перетворювачі в цілому підкоряються мікроконтролеру незалежно від програмної частини ЕОМ, реалізуючи з нею двосторонній зв'язок.

- {підсистема ЕОМ-Обробки}.

Тут ЕОМ тільки ухвалює сигнали від газоаналітичної системи й інтерпретує їх відповідно до запитів користувача.

Така розбивка дозволить реалізувати отримані підмножини у вигляді окремих модулів, що виконуються, і фізично розділити процеси обробки **тих** або інших сигналів у проектованій системі.

З іншого боку, усі підсистеми можна реалізувати в одному модулі, що виконується, регламентуючи порядок звертання до кожної з підсистем за допомогою інтерфейсу оператора.

2.1.11 Принцип обліку невизначеності й випадковостей

У проектованій системі слід передбачити можливість реакції на некоректні з погляду системи дії оператора, наприклад:

- Переповнення пам'яті;
- Спроба запиту передачі ще не обробленої інформації;

- Спроба створення невірною звертання до системи і т.д.

А так само слід урахувати ситуації негативних погодних умов (підвищена вологість, дощ), і передбачити наявність повноцінного автономного живлення.

2.2 Варіантний аналіз алгоритмів оптимізації

Варіантний аналіз реалізації об'єкта проектування реалізується методом аналізу ієрархій з погляду критеріїв, що розглядаються в наступних принципах системного аналізу:

- принцип кінцевої мети;
- принцип модульності.

Метод аналізу ієрархій (МАІ) є систематичною процедурою для ієрархічної вистави елементів, що визначають суть будь-якої проблеми. Метод полягає в декомпозиції проблеми на усе більш прості складові частини й подальшої обробки послідовних суджень особи, що ухвалює розв'язок (ОУР) по парних порівняннях. У результаті може бути виражений відносний ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. У результаті виходять чисельні вираження цих суджень. МАІ містить у собі процедури синтезу множинних суджень, одержання пріоритетних критеріїв і знаходження альтернативних розв'язків. Отримані знання є оцінками в шкалі відносин і відповідають твердим оцінкам.

Розв'язок проблеми – процес поетапного встановлення пріоритетів.

Необхідно зробити вибір одного із трьох розглянутих варіантів. Попередній перегляд критеріїв привів до вибору трьох альтернатив:

- Система А. Система із розширенням безпроводної сенсорної мережі.
- Система Б. Стаціонарні газоаналізатори типу ГАМА-100, SWG 200.
- Система В. Переносні газоаналізатори типу АНКАТ-7631М,

"АНГОР".

Детальні характеристики систем для порівняння наведені в додатку А.

Для розв'язку завдання за допомогою методу аналізу ієрархій слід визначити критерії, по яких далі будемо робити порівняння запропонованих систем. Кількість критеріїв повинна задовольняти умові: $n=7 \pm 2$.

У результаті одержуємо наступні критерії:

A_1 – кількість компонентів;

A_2 – обробка МК;

A_3 – передача по GSM;

A_4 – мобільність;

A_5 – вартість;

A_6 – автоматизація;

A_7 – зручність експлуатації.

Кількість критеріїв рівно семи, що говорить про підходящий набір критеріїв, для висновку об'єктивного кінцевого результату.

Представимо проблему вибору у вигляді трьохрівневої ієрархії (рис. 2.5)

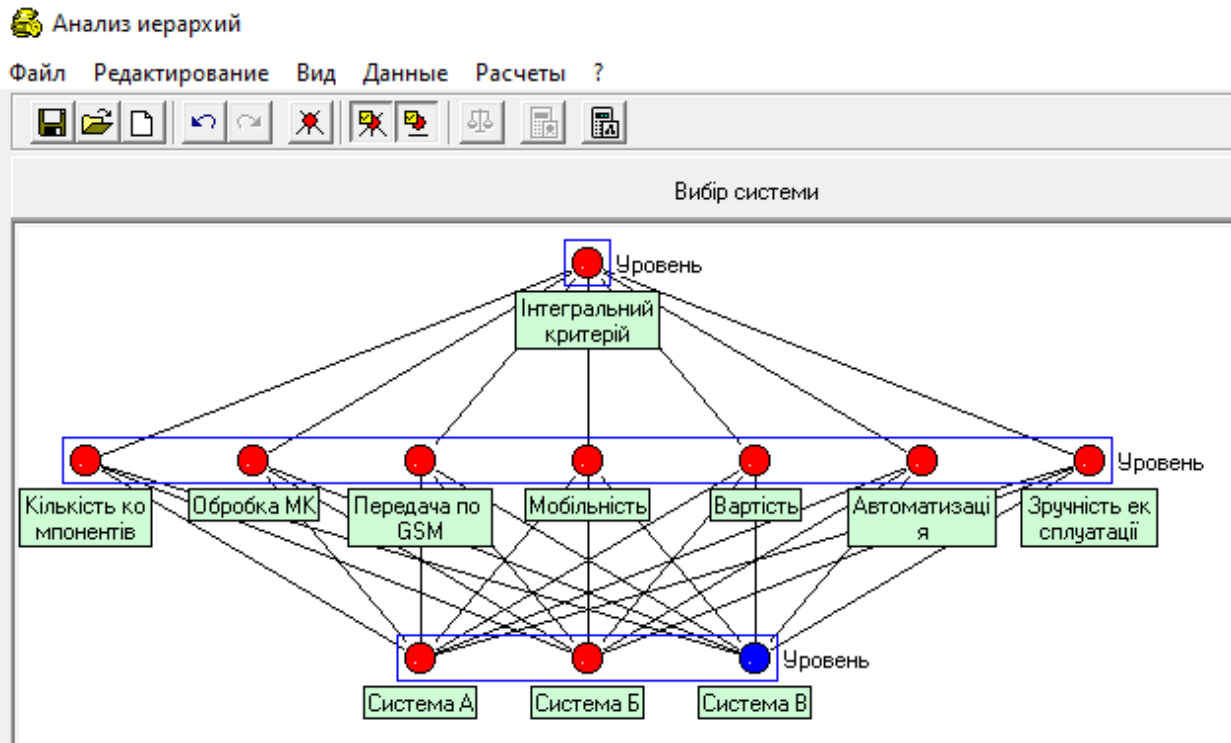


Рисунок 2.5 - Трьохрівнева схема ієрархії

Метод аналізу ієрархій є методом розв'язання багатокритеріальних завдань з ієрархічними структурами, які включають як помітні, так і непомітні чинники. Він розроблений американським математиком Томасом Сааті на початку 90-х років минулого століття [85].

Метод базується на попарних порівняннях. До того ж застосування цього методу дозволяє включати в ієрархію усі наявні у дослідника проблеми знання та факти. Експерт у процесі попарних порівнянь не тільки вибирає у кожній парі більш небезпечний об'єкт чи територію у кожній парі, але й вказує, у скільки разів один елемент переважає другий за ознакою, що розглядалась.

Алгоритм цього методу складається із наступних етапів:

1. Визначення цілі (фокусу) проблеми.
2. Системний аналіз та структуризація проблеми у вигляді ієрархічної

моделі (ціль, критерії, альтернативи).

3. Формування бази даних характеристик (альтернатив) (їх кількісні значення, при відсутності - експертні оцінки).

4. Формулювання запитань для порівняння елементів усіх рівнів ієрархії і підготовка анкет для опитування експертів.

5. Заповнення матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня групою експертів, до складу якої входить системний аналітик.

6. Визначення власних векторів матриць попарних порівнянь і їх нормування.

7. Оцінка узгодженості суджень експерта на основі відношення узгодженості.

8. Перевірка узгодженості матриць порівнянь. Якщо матриці узгоджені, то п.9, якщо ні – то перехід на п. 5.

9. Визначення локальних та глобальних пріоритетів (вагових коефіцієнтів) кожного з елементів ієрархії.

10. Визначення найкращої альтернативи.

Розглянемо скінченну множину альтернатив

$$X = \{x_1, \dots, x_m\}. \quad (2.1)$$

При порівнянні довільних двох елементів x_i і x_j цієї множини перед ОПР або експертами, що допомагають їй, ставитиметься таке запитання: у скільки разів один елемент переважає інший? Для полегшення роботи експертів опитуванню передують ознайомлення експертів зі шкалою відносної важливості елементів (табл. 2.1) [86].

Побудуємо за результатами попарних порівнянь матрицю $A = \|a_{ij}\|$ розмірності $(m \times m)$, кожний елемент якої a_{ij} являє собою оцінку відносної переваги об'єкта x_i в порівнянні з об'єктом x_j ($i, j = \overline{1, m}$), визначену експертом відповідно до рекомендацій щодо використання вищенаведеної шкали.

Таблиця 2.1 – Шкала відносної важливості об'єктів

Ступінь важливості	Визначення	Пояснення і рекомендації щодо використання
1	Об'єкти рівноцінні	Обидва об'єкти рівноцінні між собою
3	Один об'єкт дещо переважає інший	Є певні підстави вважати перший об'єкт дещо кращим за інший
5	Один об'єкт значно кращий, ніж інший	Існують підстави вважати один об'єкт значно кращим за інший
7	Один об'єкт набагато кращий за інший	Існують вагомі підстави вважати перший об'єкт набагато кращим за інший
9	Дуже велика перевага одного об'єкта над іншим	Перевага одного об'єкта у порівнянні з іншим дуже велика
2,4,6,8	Значення, що відбивають проміжні судження	Використовуються у випадках, коли вибір між двома сусідніми непарними числами викликає ускладнення
Числа, обернені до зазначених вище	Якщо при порівнянні об'єкта x_i з об'єктом x_j перший об'єкт одержав один із вищевказаних рангів, тоді інший об'єкт одержує ранг, обернений за значенням до рангу першого об'єкта	

Припустимо, що (w_1, \dots, w_m) – набір істинних відносних цінностей кожного з елементів множини X . Якби відповіді експерта були цілком узгодженими між собою, слід було б очікувати виконання співвідношень $a_{ij} = w_i/w_j$ для усіх $i, j = 1, \dots, m$. Це означає, зокрема, що потрібно покладати $a_{ii} = 1$ і $a_{ji} = 1/a_{ij}$ для усіх $i, j = 1, \dots, m$. Останнє співвідношення означає, що коли об'єкт x_i кращий за об'єкт x_j у $a > 1$ разів, тоді важливість об'єкта x_j складає $1/a$ частину від важливості об'єкта x_i . Крім цього, узгодженість відповідей експерта означає, також, що повинні виконуватися і співвідношення: $a_{ij} = \frac{a_{kj}}{a_{ki}}$ (для усіх $i, j, k = 1, \dots, m$), оскільки, якщо об'єкт x_k переважає об'єкт x_i у α разів, а об'єкт x_i переважає об'єкт x_j у β разів, тоді перший об'єкт x_k повинен переважати останній об'єкт x_j у $\alpha\beta$ разів.

Таким чином, якби відповіді експерта були цілком узгодженими між собою та абсолютно точно відбивали її переважання, для заповнення матриці A достатньо було б визначити лише один її рядок (або лише один стовпчик).

Отже, у випадку повної узгодженості між собою елементів матриці A має силу співвідношення:

$$A \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Це означає, що вектор відносних важливостей $(w_1, \dots, w_m)^T$ є власним вектором матриці A та відповідає власному числу λ цієї матриці. Більш того, λ - це найбільше власне значення матриці A , а всі інші її власні значення дорівнюють нулю.

Зазначені властивості цілком узгодженої матриці використовуються для випадків, коли відповіді експерта будуть містити похибки, а саме: після побудови матриці результатів попарних порівнянь A відносні цінності об'єктів визначають як компоненти такого її власного вектора w , який відповідає найбільшому власному числу λ_{max} цієї матриці. Чим ближче λ_{max} наближається до m , тим краще узгодженими між собою є відповіді експерта щодо відносної переважності об'єктів. Саати вводить індекс узгодженості:

$$J = \frac{\lambda_{max} - m}{m - 1} \quad (2.3)$$

де m – число порівнюваних елементів. Якщо значення цього індексу складає до 10 % щодо еталонного (табл. 2.6), то результати опитування експерта вважаються задовільними. У супротивному випадку експерт повинен уточнити свої оцінки відносної важливості об'єктів у попарних порівняннях.

Таблиця 2.2 – Еталонні значення показника узгодженості, залежно від кількості об'єктів, що порівнюються

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Еталонне значення	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Якщо є велика кількість критеріїв, що підлягатимуть порівнянню, метод Сааті є достатньо громіздким. Ця властивість притаманна усім методам, які засновані на попарному порівнянні вихідних елементів.

Цей метод може використовуватись для оцінки безпеки системи на основі оцінок стану елементів цієї системи. Він може застосовуватись для оцінки безпеки складних систем, загальний якісний стан яких визначається станом підрозділів, а структура внутрішніх зв'язків має деревоподібну ієрархію. Прикладом системи з наведеною ієрархією можуть бути: оцінка ризику техногенної та природної безпеки України в регіональному вимірі, стан безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, стан територіальної або глобальної телекомунікаційної мережі.

В результаті аналізу системи необхідно визначити, які елементи системи найбільш сильно впливають на загальний стан. Прийняття рішення щодо впливу на найбільш важливі елементи системи відбувається в залежності від результату оцінки загальної ситуації.

Здійснюємо розрахунки щодо методу аналізу ієрархій: розставляємо ступені важливості критеріїв відносно один одного, розраховуємо локальні й глобальні пріоритети. У результаті одержуємо, що система А, переважає дві інші, на другому місці система В, на третьому – Б.

Система А вийшла вперед за рахунок критеріїв А3 і А4 і А5, які внесли в перемогу цієї системи відповідно 100 %, 67,2% і 45,5 % відповідно.

Таким чином, для індивідуального розв'язку відношення погодженості ОС усієї ієрархії вийшло рівно 2,5% (менш 10%), що, згідно МАІ є припустимим, це говорить про гарну якість проведених досліджень.

У ході розгляду варіантного аналізу можна зробити висновок про правильний підхід до проектування системи, тому що вона перевершує дві інші по ряду ознак, так само є більш оптимальної й універсальною. Є

можливість наступного вдосконалення й модернізації й т.ін.

2.3. Удосконалення існуючої мережі постів спостережень

З підвищенням технічного потенціалу людства запобігання забруднення атмосфери стало обов'язковою частиною природоохоронної діяльності всіх розвинених держав. Поширення забруднень в атмосфері відбувається найбільш швидким чином і локальні катастрофи набувають глобального характеру.

В Європі і в світі здійснюються ряд міжнародних проектів, що ставлять своєю метою моніторинг домішок атмосфери у великих регіонах і контроль процесів великомасштабного переносу забруднень. З цією метою формуються глобальні і регіональні вимірювальні мережі на основі систем дистанційного та локального контролю забруднюючих компонентів атмосфери. Європейський регіон є простором, на якому міжнародні вимірювальні мережі EMEP, AERONET, EARLINET, CIS-LiNet, GALION, GAW, NDACC здійснюють регулярні спостереження за станом різних компонентів атмосфери.

В рамках 7-ї Рамкової програми розробляються заходи щодо формування комплексних спостережних мереж, реалізують синергетичний підхід до моніторингу атмосфери, заснований на використанні інформаційних можливостей наземних і космічних систем спостереження, результатів моделювання переносу атмосферних домішок, координованої роботи станцій спостережень в глобальному масштабі.

В останні роки з'явилася низка публікацій іноземних фахівців, присвячених створенню системи моніторингу повітря в урбосистемах на основі безпроводних сенсорних мереж, які складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв – мотів, оснащених сенсорами, що можуть фіксувати як метеодані, так і концентрації забруднюючих домішок у повітрі,

та надавати отриману інформації в режимі реального часу. Одна з таких мереж під назвою CitySense, що складається зі 100 сенсорних вузлів, встановлена фахівцями Гарвардського університету у м. Кембридж. Вона збирає дані про температуру, вологість повітря, вміст забруднюючих речовин у повітрі [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. У м. Лондоні безпроводна сенсорна мережа в режимі реального часу фіксує дані про забруднення повітря викидами автотранспорту [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Система моніторингу атмосферного повітря о. Маврикій представлена бездротовою сенсорною мережею, що покриває усю його територію та надає інформацію про щоденну якість повітря, відмічає у режимі реального часу підвищення чи пониження рівнів забруднюючих речовин [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Аналіз світового досвіду свідчить про ефективність та перспективність сенсорних мереж як аналізаторів якості повітряного середовища. В умовах міст України така система моніторингу стану атмосферного повітря (МСАП) допоможе вирішити проблеми, що склалися у цій галузі, покращити технічне оснащення мережі та підвищити її оперативність.

В роботі [Ошибка! Источник ссылки не найден.] проведено аналіз різних підходів до вирішення задачі розміщення пунктів спостережень мережі МСАП, визначені їх основні переваги та недоліки (див. табл. 2.3), запропоновано постановку задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі МСАП, розроблено методи та засоби її вирішення.

Таблиця 2.3 Характеристики підходів до розміщення мережі МСАП

Підхід	Економічний підхід	Ймовірностатистичний («метеорологічний») підхід	Ряд інших підходів	Підхід Верлана В.А. [Ошибка! Источник ссылки не найден.]
Характеристика				
Можливість задання пріоритетів	—	—	—	—

Врахування метеопараметрів	+	—	+**	+**
Врахування пріоритетності та заселеності територій	+	—	+	+
Врахування багатьох забруднюючих речовин (ЗР)	+	+**	+	+
Врахування структури розташування ДВ	+	—	+	+
Врахування типу ПСЗ	—	—	—	+**
Можливість використання різних моделей забруднення	+	+**	+**	+**
Комп'ютерна реалізація	—*	—*	—*	—

Примітки:

* – в доступних літературних джерелах та мережі Internet інформація відсутня;

** – частково.

Проте здійснена в [Ошибка! Источник ссылки не найден.] математична постановка задачі оптимального розміщення пунктів спостережень має декілька недоліків, усунення яких повинно покращити результативність проектованої таким чином мережі МСАП.

Усунувши недоліки притаманні підходу, описаному в [Ошибка! Источник ссылки не найден.], отримаємо наступну математичну постановку задачі оптимального розміщення пунктів спостережень мережі МСАП (2.4)–(2.16).

Функція цілі F , що максимізує загальну інформаційну корисність мережі МСАП, має вигляд:

$$F = F(A) = \sum_{i=1}^{m\Sigma} \sum_{j=1}^{n\Sigma} a_{ij} \cdot b_{ij} \cdot g_{ij}(A) \rightarrow \max, \quad (2.4)$$

де: $m \times n$ – розмірність матриць після розбиття досліджуваної території (найчастіше міста) на $m \times n$ квадратів; A – матриця керованих змінних:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо в квадрат}(i, j) \text{ буде встановлено ПСЗ;} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}; \quad (2.5)$$

B – матриця опису досліджуваної території (міста):

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо квадрат}(i, j) \text{ належить території міста;} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}; \quad (2.6)$$

$g_{ij}(A)$ – інформаційна корисність проведення спостережень на даній території

(i,j) , яка задається формулою:

$$g_{ij}(A) = \sum_{(p,q) \in (S_{ij} - S_{ij \text{ вст}})} k_{pq}(A) \cdot \frac{R_{ij} - d_{spq}}{R_{ij}} + \sum_{(p,q) \in S_{ij \text{ вст}}} k_{pq}(A) \cdot \frac{R_{ij} - d_{spq}}{R_{ij}} \cdot \frac{d_{pq}(A)}{R_{pq}}, \quad (2.7)$$

де: s_{ij} – площа території, що «представляється» постом (i,j) ; R_{ij} – радіус «представництва» посту; $s_{вст}$ – площа, яка визначається перетином площ встановлених ПСЗ і передбачуваного посту, d_{spq} – відстань від центру даної території до точки (p,q) ; $d_{ij}(A)$ – відстань між даною точкою (i,j) та найближчим ПСЗ:

$$d_{ij}(A) = \min(\sqrt{(x_k - x_{ij})^2 + (y_k - y_{ij})^2}), \quad k = \overline{1, N'}; \quad (2.8)$$

N'' – кількість зафіксованих ПСЗ на даний момент; C – вектор координат (x_k, y_k) існуючої (з N' ПСЗ) та зафіксованої мережі з N'' ПСЗ; (x_{ij}, y_{ij}) – координати центру квадрата (i,j) ; $k_{ij}(A)$ – доцільність проведення МСАП для території квадрата (i,j) , що визначається за формулою:

$$k_{ij}(A) = z_{ij} \left(\alpha_{ij} + \beta_{ij} \frac{e_{ij}}{d_{ij}(A)} \right), \quad (2.9)$$

де: $\alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}$ – пріоритетності врахування рівня забруднення, показника соціально-економічної цінності ділянки території та відстані до найближчого ПСЗ відповідно (при цьому $\alpha_{ij} + \beta_{ij} + \gamma_{ij} = const$); e_{ij} – показник соціально-економічної цінності ділянки території, що враховує густину населення; e_{max} – максимальний показник соціально-економічної цінності ділянки території:

$$e_{max_{ij}} = \overline{1, m, 1, n} \quad ; \quad (2.10)$$

$d_{max}(A)$ – максимальна відстань між будь-якою точкою в межах досліджуваної території (наприклад, міста) та найближчим ПСЗ:

$$d_{max_{ij}} = \overline{1, m, 1, n} \quad ; \quad (2.11)$$

z_{ij} – коефіцієнт забрудненості (індекс забруднення атмосфери – ІЗА):

$$z_{ij} = \sum_{p=1}^t \left(\frac{q_{ijp}}{\Gamma ДК_{с\text{д}p}} \right)^{C_p}, \quad (2.12)$$

де: q_{ijp} – концентрація p -ої ЗР у квадраті (i,j) ; $\Gamma ДК_{с\text{д}p}$ – середньодобова граничнодопустима концентрація p -ої ЗР; C_p – безрозмірний коефіцієнт, що приводить рівень забруднення p -ою ЗР до рівня забруднення речовини третього класу небезпеки. Для речовин першого класу небезпеки $C_p=1,7$; для другого – $1,3$; для третього – $1,0$; для четвертого – $0,9$; t – загальне число домішок, що беруть участь в розрахунку.

При цьому накладаються обмеження на кількість постів та мінімальну відстань між ними:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq N, \quad (2.13)$$

$$d_{ij}(A) \geq d_{\min ij} \forall (i,j) a_{ij} = 1, \quad (2.14)$$

де: N – кількість нових ПСЗ, що може бути встановлена; $d_{\min ij}$ – мінімальна відстань між ПСЗ території квадрата (i,j) та будь-яким іншим ПСЗ.

Крім того на значення $d_{ij}(A)$ впливає параметр V :

$$V = \begin{cases} 0, & \text{якщо вмістине мережі, або нею можна знехтувати} \\ 1, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (2.15)$$

Таким чином, якщо $V=0$, то до визначення координат першого ПСЗ матимемо:

$$d_{ij}(A) \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{d_{ij}(A)}{d_{\max}(A)} = 1 \quad (2.16)$$

При цьому загальні характеристики задачі, порівняно з описаним в **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]** не змінились, і відповідно до понятійного апарату дослідження операцій математична постановка задачі (2.4)–(2.16) оптимального розміщення пунктів спостережень мережі МСАП характеризується наступним чином:

1) ціль дослідження операцій — знаходження такої матриці A (і як

наслідок набору координат для розміщення не більше ніж N ПСЗ), що загальна інформаційна корисність мережі F є найбільшою;

2) керовані змінні – матриця A ;

3) вхідні дані – вектор C та параметр V (які визначають початковий вигляд матриці $D(A)=\{d_{ij}(A)\}$), матриці B , $E=\{e_{ij}\}$, $Z=\{z_{ij}\}$, $R=\{R_{ij}\}$, $\alpha =\{\alpha_{ij}\}$, $\beta =\{\beta_{ij}\}$ та $\gamma =\{\gamma_{ij}\}$, значення N та N' , d_{min} ;

4) обмеження – формули (2.13)–(2.14);

5) критерій оптимальності – максимальна загальна інформаційна корисність мережі МСАП (2.4).

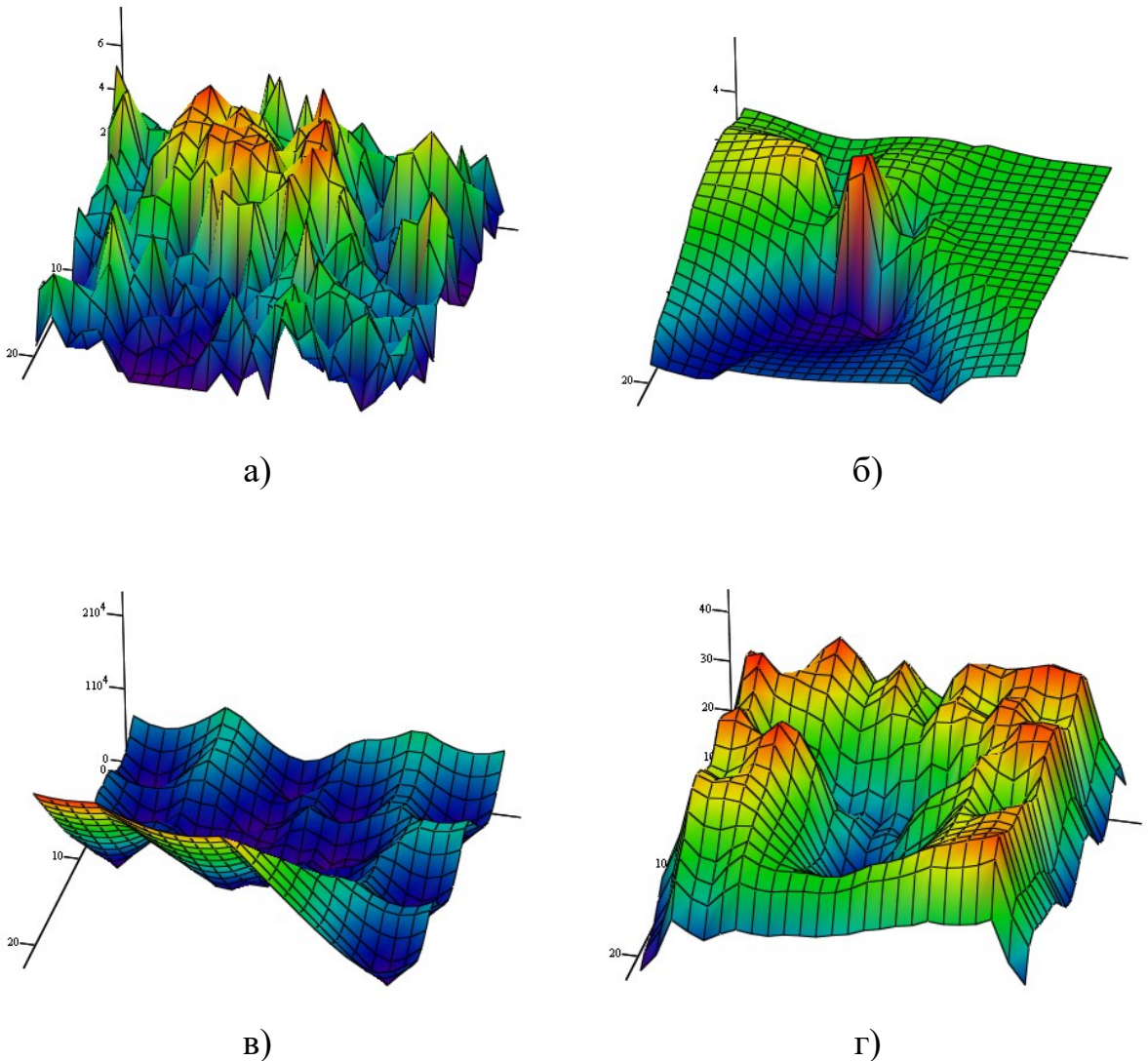


Рисунок 2.3 - Приклад візуалізації матриць $E=\{e_{ij}\}$ (а), $Z=\{z_{ij}\}$ (б) та $D(A)=\{d_{ij}\}$

(в), що утворюють коефіцієнти функції цілі $G(A)=\{g_{ij}\}$ (г)

Поставлена задача (2.4)–(2.16) є детермінованою бінарною нелінійною задачею умовної оптимізації та динамічного програмування на неопуклій або незв'язній області:

1) елементи матриці $D(A)=\{d_{ij}(A)\}$ (рис. 2.3, в), а, отже, і коефіцієнти $g_{ij}(A)$ функції цілі F (рис. 2.3, з) залежать від матриці керованих змінних A , а тому змінюються в процесі вирішення задачі, що робить її задачею динамічного програмування;

2) коефіцієнти b_{ij} (2.6) функції цілі F (2.4), що описують досліджувану територію (наприклад місто), – тобто область, на якій здійснюється розміщення, можуть приймати такі значення, що область розміщення може бути неопуклою (наприклад для м. Київ), або навіть незв'язною (якщо оптимізується мережа декількох міст-сусідів одночасно), а, отже, задача (2.4)–(2.16) не є задачею опуклого програмування;

3) виходячи з (2.8) обмеження (2.14) є нелінійним, а, отже, задача (2.4)–(2.16) є задачею нелінійного програмування;

4) оскільки в задачі (2.4)–(2.16) є обмеження (2.13)–(2.14), то вона є задачею умовної оптимізації;

5) множина розв'язків задачі (2.4)–(2.16) є дискретною (цілочисельною та навіть бінарною), а тому задача (2.4)–(2.16) є задачею комбінаторної оптимізації.

Розділ 3. Розробка інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля

3.1 База даних MySQL

Для зберігання великого обсягу даних було створено базу даних MySQL:

1. Таблиця Sensor:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS Sensor (  
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    name TEXT NOT NULL,  
    mountingDate DATE,  
    pos TEXT NOT NULL,  
    status TINYINT NOT NULL DEFAULT 0,  
    description TEXT,  
) ENGINE=INNODB;
```

Таблиця містить дані про датчики в системі, їх назву, дату встановлення, розташування, статус та опис.

2. Таблиця Records:

```
CREATE TABLE IF NOT EXISTS Records (  
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    sensorId INT,  
    data TEXT NOT NULL,  
    date DATE  
) ENGINE=INNODB;
```

Таблиця використовується як сховище для записів даних від датчиків, має такі властивості: унікальний ID запису, ID датчика від якого пришли дані, дані у текстовому варіанті, дата коли було отримано дані

3.2 База даних Tarantool

Для забезпечення здатності роботи з Big Data створено базу даних Tarantool

Великі дані (Big Data) - сукупність безупинно збільшуються обсягів інформації одного контексту, але різних форматів представлення, а також методів і засобів для ефективної і швидкої обробки.

Особливості Tarantool

- noSQL,
- in-memory,
- key-value,
- snapshot
- master-slave replication

Tarantool – це дуже швидка in-memory база даних

Модель даних: ключ-значення, кожен елемент це кортеж довільної кількості полів.

Приклад:

```
(101, "johnsmith", "25Ezk62$i2Z12QYY", "USA")  
(102, "ivankuznetsov", "35Fal73$y3x23KZZ", "RUS")
```

Перший елемент кортежу – це **первинний ключ**, по якому отримуються дані до всього кортежу.

Зчитування даних завжди йде з **оперативної пам'яті**.

Дані захищені **логом транзакцій та снєпшотами**.

Робота з Tarantool проводиться на мові програмування Lua

Створюємо box з налаштуваннями

```
if os.getenv('TARANTOOL_USER_NAME') == nil then  
  box.cfg{  
    work_dir = ".",  
    listen = 8083,  
    wal_dir = ".",  
    memtx_dir = ".",
```

```

    vinyl_dir = ".",
  }

  if not box.schema.user.exists('dev') then
    box.schema.user.create('dev')
    box.schema.user.passwd('dev', 'dev')
    box.schema.user.grant('dev', 'read,write,execute,create,drop', 'universe')
  end
else
  box.cfg{
    listen = 8080,
    memtx_memory = 4 * 1024 * 1024 * 1024, -- memtx_memory = 8 * 1024 *
1024 * 1024,
    memtx_max_tuple_size = 2147483648, -- memtx_max_tuple_size = 1024 *
1024 * 1024,
    slab_alloc_factor = 2
    -- readahead = 1024 * 1024 * 1024
  }
end

```

При ініціалізації створюємо стек(чергу)

```

queue = require('queue')
function init(box)
  queue.create_tube('Q_sensor_data', 'fifo', { temporary = true, if_not_exists =
true})
end

```

Функція для додавання даних у чергу

```

function recieve(data)
  queue.tube.Q_sensor_data:put(data)
end

```

Сервіс Tarantool ми використовуємо тільки для зберігання даних у черзі, саму обробку цих даних проводимо у окремому workerі написанному на nodejs.

Функція обробки черги

```
process.env.TARANTOOL_USER = process.env.TARANTOOL_USER || 'dev';
process.env.TARANTOOL_PASS = process.env.TARANTOOL_PASS || 'dev';
process.env.TARANTOOL_HOST = process.env.TARANTOOL_HOST || 'localhost';
process.env.TARANTOOL_PORT = process.env.TARANTOOL_PORT || '8083';
```

```
const Cache = require('./src/Cache');
const Queue = require('./src/Queue');
```

```
const processQueue = async () => {
  await Cache.init({
    name: 'sensor_monitor',
    host: process.env.TARANTOOL_HOST,
    port: process.env.TARANTOOL_PORT,
    user: process.env.TARANTOOL_USER,
    pass: process.env.TARANTOOL_PASS
  });

  let connection = getConnection();
  const cache = Cache.get('sensor_monitor');
  const queue = new Queue(cache, 'sensor_data');
  await queue.register();

  for (let task of queue) {
    const {
      id: taskId,
      data
    } = await task;

    try {
      await mysqlWorker(data, connection);
      await queue.ack(taskId);
    } catch (e) {
      console.error('Task error: ', taskId, e);
      await queue.bury(taskId);
    }
  }
}
```

```
    }  
  }  
}
```

Фунція підключення до MySQL бази даних:

```
process.env.MYSQL_HOST = process.env.MYSQL_HOST || '127.0.0.1';  
process.env.MYSQL_USER = process.env.MYSQL_USER || 'dev';  
process.env.MYSQL_PASS = process.env.MYSQL_PASS || 'dev';  
process.env.MYSQL_DB = process.env.MYSQL_DB || 'sensor_monitor';  
const getConnection = () => {  
  let connection = mysql.createConnection({  
    host: process.env.MYSQL_HOST,  
    user: process.env.MYSQL_USER,  
    password: process.env.MYSQL_PASS,  
    database: process.env.MYSQL_DB  
  });  
  
  return {  
    query(sql) {  
  
      return new Promise((resolve, reject) => {  
        connection.query(sql, (err, result) => {  
          if (err) {  
            reject(err);  
          }  
  
          resolve();  
        });  
      });  
    },  
    close() {  
  
      return new Promise((resolve, reject) => {  
        connection.end((err) => {  
          if (err) {  
            reject(err);  
          }  
        });  
      });  
    }  
  }  
};
```

```

        }

        resolve();
    })
});
}
};
}

```

Функція запису даних у MySQL таблицю

```

const mysqlWorker = async (data, connection) => {
    let values = [];

    for (let sensor of data) {

        let [
            id,
            sensorId,
            data,
            date
        ] = sensor;

        values.push(`(${id}, ${sensorId}, '${data}', ${date})`)
    }

    let query = `
        INSERT INTO Records VALUES <%v%>
    `;

    if (values.length > 0) {
        query = query.replace('<%v%>', values.join(', '));
        await connection.query(query)

        values = [];
    }
}

```

3.3 API

Для роботи з даними в MySQL базі даних, створено API за допомогою Express.js фреймворку web-додатків для Node.js.

Оскільки доступ до даних реалізовано через API, їх можна отримати на будь якій платформі, веб-сайт, месенджер-боти, додатки на смартфон і т.д.

Код GET-запиту для отримання даних по даті

```
const sequelize = require('sequelize'); // ORM для роботи з MySQL
module.exports = (req, res) => {
  const query = `
SELECT
  id,
  Sensor.name,
  Sensor.pos,
  data,
  date
FROM
  Records
  LEFT JOIN Sensor ON
    Records.sensorId = Sensor.id
WHERE
  date = ${req.query.date}
GROUP BY date`;

  sequelize.query(query, {
    type: sequelize.QueryTypes.SELECT
  })
  .then(result => {
    res.json({
      data: result
    });
  })
  .catch(e => {
    console.log('Error: ', e);
    res.sendStatus(500);
  })
}
```

Вихідні дані у зручному та сучасному форматі JSON.

Висновки

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було вирішено актуальне науково-прикладне завдання розробки інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо контролю стану складових довкілля з використанням безпроводних сенсорних мереж.

За результатами магістерської роботи можна зробити наступні висновки:

1. У роботі було вперше запропоновано підхід до моніторингу екологічного стану промислових об'єктів на рівні ПТГС і територіально-об'єктових угруповань, що дозволяє встановити механізми саморегулювання рівнів техногенного впливу на НПС за рахунок контролю трансформаційних процесів в техногенних потоках.

2. Також удосконалено методичне забезпечення моніторингу стану екологічності природно-техногенних геосистем шляхом впровадження безпроводних сенсорних мереж і забезпечення комплексності прийняття управлінських рішень на рівні «стан систем – процес – стан об'єкта».

3. Подальший розвиток отримала структура системи підтримки прийняття рішень щодо оцінки стану безпроводної сенсорної мережі моніторингу з використанням газоаналізаторів на основі аналізу небезпечності впливу викидів небезпечних повітряно-газових сумішей промислово-енергетичних об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пирожков С. І. Національна безпека України: сучасне розуміння / С. І. Пирожков, В. Селіванов // Вісник АН України. – 1992. – № 9. – С. 3-10.
2. Качинський А. Б. Державна політика у сфері забезпечення екологічної безпеки (пропедевтичний аспект): наук.-метод. посіб. / А. Б. Качинський. – К. : НА СБ України, 2005. – 117 с.
3. Дорогунцов С. І. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення / С. І. Дорогунцов, О. М. Ральчук – К. : Наукова думка, 2001. – 173 с.
4. Кравченко С. М. Екологічна етика і психологія людини / С. М. Кравченко, М. В. Костецький. – Львів : Світ, 1992. – 104 с.
5. Солженцев Е. Д. Концепция обеспечения безопасности сложных систем: «нулевого риска», «ненулевого риска», «смешанного подхода» / Е. Д. Солженцев, И. В. Солженцев // Теория и информ. технология моделирования безопасности слож. систем. – СПб. : Изд-во Ин-та проблем машиноведения РАН, 1994. – Вып. 4. – С. 67—82.
6. Дорогунцов С. І. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку: концепція системно-динамічного вирішення / С. І. Дорогунцов, О. М. Ральчук – К. : Наукова думка, 2001. – 173 с.
7. Воронцов Н. Н. Развитие эволюционных идей в биологии / Н. Н. Воронцов. – М. : Прогресс – Традиция, 1999. – 640 с.
8. Згуровский М., Доброногов А., Померанцева Т. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа / М.Згуровский, А. Доброногов, Т. Померанцева. – К. : Наук. Думка, 1997. – 221 с.

9. Гавриш С. Уголовно-правовая охрана природной среды Украины. Проблемы теории и развитие законодательства / С. Гавриш. – Харьков : Основа, 1994. – 638 с.

10. Згуровський М. З. Сталий розвиток в глобальному і регіональному вимірах / М. З. Згуровський – К.: Вид-во «Політехніка», 2006. – 85 с.

11. Качинський А. Б. Системний аналіз визначення пріоритетів в екологічній безпеці України / А. Б. Качинський. – К. : Національний інститут стратегічних досліджень, 1995. – № 42. – 46 с.

12. Шмандій В. М. Управління екологічною безпекою на регіональному рівні (теоретичні та практичні аспекти) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / В. М. Шмандій. – Харків, 2003. – 39 с.

13. Рудько Г. І. Екологічна безпека техноприродних геосистем (наукові та методичні основи) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Г. І. Рудько. – Сімферополь, 2005. – 35 с.

14. Шкіца Л. Е. Екологічна безпека гірничопромислових комплексів західного регіону України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Л. Е. Шкіца – Івано-Франківськ, 2006. – 36 с.

15. Адаменко Я. О. Оцінка впливів техногенно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище: науково-теоретичні основи, практична реалізація : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Я. О. Адаменко. – Івано-Франківськ, 2006. – 32 с.

16. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 555 с.

17. Варламов Г. Б. Маловитратні технології для підвищення екологічної безпеки теплоенергетичних об'єктів та систем : автореф. дис. на

здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Г. Б. Варламов. – Харків. 2007. – 39 с.

18. Подустов М. О. Екологічно безпечні ресурсозберігаючі технологічні процеси та устаткування у виробництві поверхнево-активних речовин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / М. О. Подустов. – Харків, 2007. – 32 с.

19. Василенко С. Л. Екологічна безпека систем водопостачання міст: методологія вивчення та управління : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / С. Л. Василенко. – Харків, 2007. – 37 с.

20. Руденко С. В. Екологічна безпека техногенно навантажених урбанізованих екосистем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / С. В. Руденко. – Миколаїв, 2007. – 36 с.

21. Похомова Н. В. Экологический менеджмент / Н. В. Похомова, А Эндрес, К. Рихтер. – СПб. : Питер, 2003. – 544 с.

22. Норт К. Основы экологического менеджмента. Введение в экологию промышленного производства / К. Норт. – М. : Инфра-М, 1994. – 390 с.

23. Карагодов И. А. Экологический менеджмент природопользования / И. А. Карагодов // Бизнес-информ. – 1998. – № 19. – С. 3–7.

24. Веклич О. Удосконалення економічних інструментів екологічного управління / О. Веклич // Економіка України. – 1998. – №9. – С. 67–72.

25. Інформаційні системи в менеджменті / [Глівенко С. В., Лапін Є. В., Павленко О. О., Лебідь В.М.]. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2005. – 407 с.

26. Івану Р. Екологізація розвитку продуктивних сил України / Р. Івану // Економіка України. – 1992. – № 10. – С. 26–31.

27. Бабина Ю. В. Экологический менеджмент / Ю. В. Бабина, Э. А. Варфоломеев. – М: ИД «Социальные отношения», изд-во «Перспектива», 2002. – 207 с.

28. Кирсанова Т. А. Экологический контроллинг – инструмент экоманеджмента / Кирсанова Т. А., Кирсанова Е. В., Лукьянихин В. А. – Сумы: «Козацький вал», 2004. – 222 с.

29. Мишенин Е. В. Экономический механизм экологизации производства / Мишенин Е. В., Семененко Б. А., Мишенина Н. В.. – Сумы : ИПП «Мрія- 1» ЛТД. 1996. – 140 с.

30. Пушкар М. С. Контролінг: моногр. / М. С. Пушкар. – Тернопіль, 1997. – 146 с.

31. Стратегия и тактика антикризисного управления фирмой / [под ред. А. П. Градова]. – СПб. : Специальная литература, 1996. – 465 с.

32. Иконникова И. В. Контроллинг как метод эффективного хозяйствования на рынке / И. В. Иконникова // Материалы конференции «Актуальные проблемы управления социально-экономическими процессами в регионе». – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – С. 23–35.

33. Рубцов С. В. Целевое управление в корпорациях. Управление изменениями: моногр. / С. В. Рубцов. – М., 2001 – 235 с.

34. Ивашкевич В. Б. Контроллинг: экзотика или необходимость? / В. Б. Ивашкевич, А. И. Ивашкевич // Бухгалтерский учет. – 1996. – № 7. – С. 28–31.

35. Майер Э. Контроллинг как система мышления и управления / Э. Майер; пер. с нем. под ред. С. А. Николаевой. – М. : Финансы и статистика, 1993. – 94 с.

36. Манн Р. Контроллинг для начинающих / Р. Манн, Э. Майер; пер. с нем. Ю. Т Жукова. – М. : Финансы и статистика, 1995. – 304 с.

37. Контроллинг как инструмент управления предприятием / [под ред. Н. Г. Данилочкиной]. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 217 с.
38. Буркинский Б. В. Франчайзинговый механизм природоохранного предпринимательства / Буркинский Б. В., Ковалева Н. Г., Золотов А. В. // Проблемы инвестиционного менеджмента в природоохранной деятельности. – Одесса : ИПРЭЭИ НАНУ, 2001. – С.137–142.
39. Аттетков А.В. Методы оптимизации / Аттетков А. В., Галкин С. В. , Зарубин В. С. –М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.
40. Бобылев С. Н. Экономика природопользования / С. Н. Бобылев, А. Ш. Ходжаев. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 501 с.
41. Голуб А. А. Экономика природопользования / А. А. Голуб, Е. Б. Струкова. – М. : Аспект Пресс, 1995. – 188 с.
42. Дайман С. Ю. Системы экологического менеджмента / [Дайман С. Ю., Гусева Т. В., Заика Е. А., Сокорнова Т. В.]. – М. : Форум, 2008. – 336 с.
43. Глушкова В. Г. Экономика природопользования: / В. Г. Глушкова, С. В. Макар. – М. : Гардарики, 2005. – 448 с.
44. Титенберг Т. Экономика природопользования и охрана окружающей среды / Т.Титенберг; пер. с англ. К. В. Папенова ; под науч. ред. А. Д. Думнова и И. М. Потравного. – М. : ОЛМА-ПРЕСС, 2000. – 706 с.
45. Системы экологического менеджмента для практиков / [Дайман С. Ю., Островкова Т. В., Заика Е. А, Сокорнова Т. В.]; под ред. С. Ю. Даймана. – М. : Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 248 с.
46. Тихомиров Н. П. Социально-экономические проблемы защиты природы / Н. П. Тихомиров. – М. :Экология, 1992. – 239 с.
47. Трифонова Т. А. Экологический менеджмент / Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Ильина М. Е. – М. : АП Фонд «Мир», 2003. – 320 с.
48. Лук'яніхін В. О. Екологічний менеджмент / В. О. Лук'яніхін. – Суми : ВТД „Університетська книга”, 2002. – 314 с.

49. Екологічне управління / [Шевчук В. Я., Сатанкін Ю. М., Білявський Г. А. та ін.] ; під ред. Г. А. Білявського – К.: Лебідь, 2004. – 430 с.

50. Козуля Т. В. Теоретично-практичні підходи при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу / Т. В. Козуля // Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. – 2004. – № 45. – С. 110–118.

51. Петров В. В. Энтропийные методы проектирования сложных информационных систем / В. В. Петров, В. М. Агеев, Н. В. Павлова // Итоги науки и техники. Техническая кибернетика. – М., 1985. – Т.18. – С. 78 – 123.

52. Горелова Г. В. Когнитивное моделирование процессов загрязнения урбоэкосистем / Г. В. Горелова, И. А. Ильченко // Сб. трудов 4-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» CASC'2004, ИПУ РАН. – М., 2004. – Т.1. – С.60–67.

53. Пампуро В.И. Многокритериальная оптимизация технологии предупреждения экологической катастрофы из-за тяжелой аварии объекта / В. И. Пампуро // Доповіді НАН України. – 2000. – № 10. – С. 200-206.

54. Пампуро В.И. Концепция тяжелой аварии и верхняя оценка ее риска / В. И. Пампуро // Доповіді НАН України. – 2001. – №7. – С. 185-190.

55. Пампуро В.И. Метод разработки математических моделей управления экологической безопасностью объектов / В. И. Пампуро // Доповіді НАН України. – 1999. – №1. – С. 197-203.

56. Пампуро В.И. Структурная информационная теория надежности систем / В. И. Пампуро. – К.: Наукова думка, 1992. – 324 с.

57. Максимов В. И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций / В. И. Максимов // Проблемы управления. – 2005. – №3. – С. 30–38.

58. Прангишвили И. В. Системный подход и общесистемные закономерности / И. В. Прангишвили. – М. : СИНТЕГ, 2000. – 528 с.

59. Федулов А. С. Нечеткие реляционные когнитивные карты / А. С. Федулов // Теория и системы управления. – 2005.– №1. – С. 120–132.

60. Авдеева З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) /З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко // Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями). Управление большими системами: сб. науч. трудов. – М. : ИПУ РАН, 2007. – Вып. 16. – С. 26–36.

61. Ильченко И. А. Когнитивное моделирование влияния сезонных изменений климата на характер химического загрязнения урбоэкосистем / И. А. Ильченко // Управление большими системами: сб. науч. трудов. – М. : ИПУ РАН, 2007. – Вып. 16. –С. 99–109.

62. Вализер П. М. Оценка уровня экологической безопасности заповедника / П. М. Вализер, Г. В. Губко // Теория активных систем. Труды международной научно-практической конференции. – М. : ИПУ РАН, 2003. – Том 1. – С. 85–87.

63. Губко Г. В. Модели и механизмы управления особо охраняемыми природными территориями / Г. В. Губко. – М. : Геотур, 2002. – 121 с.

64. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс; пер. с англ. А. М. Рапопорта, С. И. Травкина; под ред. А.И. Теймана. – М.: «Наука», 1986. – 496 с.

65. Карагодов И. А. О некоторых аспектах экономики чистого воздуха / И. А. Карагодов // Экономика Украины. – 1998. – № 10. – С. 54–57.

66. Трегобчук В. Необходимость эколого-экономической модели рыночных реформ в Украине / В. Трегобчук, О. Веклич // Экономика Украины. – 1997. – №4. – С. 12–13.

67. Мельник Л. Г. Екологічна економіка / Л. Г. Мельник. – Суми: Університетська книга, 2003. – 348 с.

68. Чепурной Н. Д. Об одной общей концепции построения Республиканской системы поддержки принятия решений // Н. Д. Чепурной, Н. Н. Бука, В. С. Чабанюк // Компьютерные системы поддержки решений в экологии: сб. науч. трудов. – К., 1991. – С. 3–14.

69. Механізми стратегічного програмно-цільового планування розвитку безпеки і оборони України / [наук.-інформ. зб.]. – К.: ДП «НВЦ «Євроатлантикінформ», 2006. – Вип. 23. – 152 с. – (Серія: Дослідження і розробки у сфері євроатлантичної інтеграції України).

70. Заславский Б. Г. Управление экологическими системами / Б. Г. Заславский, Р. А. Полуектов. – М.: Наука, 1986. – 290 с.

71. Козуля Т. В. Исследование оптимальных математических подходов в управлении качеством окружающей среды на основе данных экологического мониторинга / Т. В. Козуля // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – Вып. 129. – С. 59–66.

72. Сукачов В. И. Основы синергетики / В. И. Сукачов. – К.: Оберег, 2001. – 287 с.

73. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 423 с.

74. Николас Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление / Дж. Николас. – М.: Мир, 1989. – 488 с.

75. Козуля Т. В. Синергетика і прийняття управлінського рішення в умовах функціонування корпоративної екологічної системи / Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С. 31–36.

76. Козуля Т. В. Вплив хімічної природи важких металів на їх хіміко-трансформаційні особливості поведінки у ґрунтах / Т. В. Козуля, Л. В. Глушкова, З. В. Штітельман // Захист довкілля від антропогенного навантаження. – Харків-Кременчук, 2001. – Вип. 4(6). – С. 53–60.

77. Мартин Н. Математическая теория энтропии / Н. Мартин, Дж. Ингленд; пер. с англ. В. А. Каймановича; под ред. А. М. Вершика. – М. : Мир, 1988. – 350 с.

78. Шаронова Н. В. Элементы корпоративной системы і термодинамічного аналізу при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу / Н. В. Шаронова, Т. В. Козуля // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2005. – № 3 (23). – С. 35–39.

79. Федулов А. А. Введение в теорию статистически ненадежных решений / Федулов А. А., Федулов Ю. Г., Цыгичко В. Н. – М.: Статистика, 1979. – 279 с.

80. Системный анализ и проблемы развития городов / [Попков Ю. С, Посохин М. В., Гутнов А. С., Шмутьян Б. Л]. – М.: Наука, 1983. – 512 с.

ДОДАТОК А

Характеристики газоаналізаторів

Таблиця А.1 - Характеристика для стаціонарного газоаналізатора ГАМА-100

Характеристики	Значення	Примітка
Вимірювані компоненти	З, З ₂ , СН ₄ , NO, SO ₂ , O ₂ , Н ₂ , N ₂	- до 3-х у будь-якій комбінації - різні шкали
Температура навколишнього середовища, °З	+5 - +45 -40 - +45	- общепром. для приміщень - з додатковою оболонкою
Канал зв'язку для підключення зовнішніх обладнань	RS 232, RS 485	
Уніфікований струмові сигнали, мА	0 – 5 або 4 – 20	
Вихідні контакти реле	220В, 2,5А	- 2 програмувальних порога на підвищення або зниження концентрації
Параметри аналізованого газового середовища	від 5 до 45 5	При необхідності додатково поставляється
Температура, °З Волога, не більш г/м ³ Пил, не більш мг/м ³	1	система пробоотбора, пробоподготовки
Напруга Живлення, В	220	
Споживана потужність, ВА, не більш	150	
Габаритні розміри, мм	450x440x280	
Маса, кг, не більш	20	

Таблиця А.2 - Характеристика для стаціонарного газоаналізатора SWG 200

Діапазон виміру	
O ₂	0...1 (макс. 0...100) % про.
CO	0...1000 ппм (макс. 0...50) % про.
CO ₂	0...1 (макс. 50) % про.
NO	0...100 (макс. 0...4000) ппм
NO ₂	0...1000 ппм
CH ₄	0...1 (макс. 0...50) % про.
Габаритні розміри	600 x 220 x 420 мм
Маса	до 24 кг
Робоча температура	+5 ... +45°C
Температура зберігання	-20 ... +60°C
Температура газів	до 1700°C
Живлення	100... 240 В (АС)

Таблиця А.3 - Характеристика для переносного газоаналізатора АНКАТ-7631М

Характеристики	Значення	Примітки
Час прогріву, хв, не більш	10	
Час установлення показань, з, не більш	60	
Час роботи без підзарядки, год, не менш	34	при ємності батареї 0,8 А*год
Живлення від акумулятора, В	3,6	3 акумулятора типорозмір ААА
Температура навколишнього середовища, °З	(-30±45)	(-20 – +45) для газоаналізаторів
Рівень звукового сигналу, дБ, не менш	70	
Габаритні розміри, мм	130x40x72	
виносного датчика	140x66x66	
Маса, кг	0,24	
виносного датчика	0,35	
Термін служби, років, не менш	10	
для електрохімічного датчика	1,7	

Таблиця А.4 - Характеристика переносного газоаналізатора "АНГОР"

Аналізований газ	Діапазон вимірів	Межі погрішності, що допускається	
SO ₂	0 - 5000 мг/м ³	(20+0,1*Сх) мг/м ³	
NO	0 - 3000 мг/м ³	(20+0,1*Сх) мг/м ³	
NO ₂	0 - 200 мг/м ³	20 мг/м ³	
CO	0 - 10000 мг/м ³	(20+0,1*Сх) мг/м ³	
O ₂	0 - 25 про%	0,2 про%	
CO ₂	0 - 25 про%	не нормований (визначення з розрахунку)	
Обумовлений параметр	Діапазон вимірів	Межі погрішності, що допускається	
		абсолютної	відносної
Температура газового потоку	-20 – +800 °С	2 °С (-20 – +100 °С)	2 % (100–800 °С)
Надлишковий тиск (розрядження) газового потоку	(0 – 50) гПа	0,2 гПа ((0 – 10) гПа)	2 % ((10 – 50) гПа)
Диференціальний тиск пневмометричної трубки	(0 – 50) гПа	0,2 гПа ((0 – 10) гПа)	2 % ((10 – 50) гПа)
Швидкість газового потоку	4 – 50 м/с	не нормований (визначається пневмометричною трубкою)	
Температура навколишнього середовища	-30 – +50 °С	не нормований (індикатор)	
Коефіцієнт надлишку повітря	1,00 – 9,99	не нормований (визначення з розрахунку)	
Коефіцієнт втрат тепла	0 – 99,9 %	не нормований (визначення з розрахунку)	
КПД згоряння палива	0 – 99,9 %	не нормований (визначення з розрахунку)	

ДОДАТОК Б

Довідкові характеристики газових датчиків

Таблиця Б.1 - Технічні дані датчика угарного газу Alphasense CO-AE і CO-AF

	CO-AE	CO-AF
Діапазон (млн ⁻¹)	0-10,000	0-5,000
Чутливість (на/млн-1)	12-20	55-90
Дозвіл (млн ⁻¹)	< 5	< 0.5
Час відгуку (t ₉₀) (сек)	< 75	< 25
Нульовий потік (млн-1 при 20 °С)	< ±20	< ±2
Взаємна чутливість (% при 20 °С)	< 75	< 60
Межа (млн ⁻¹)	100,000	10,000
Термін служби (мес.)	> 24	> 24
Діапазон температури (°С)	-30 +50	-30 +50
Діапазон тиску (кПа)	80-120	80-120
Діапазон вологості (%)	15-90	15-90
Розрахований резистор RG (кому)	25	11

Таблиця Б.2 - Технічні дані датчика вуглекислого газу CO2-D1

Діапазон (%)	0.2-95
Чутливість (В/десята) (0.5%-5%)	6-10
Дозвіл (млн-1 еквівалент)	100
Час відгуку (t ₉₀) (хв)	2-4
Нульовий потік (mV)	-30 +30
Дрейф нуля (mV)	±3
Термін служби (мес.)	> 24
Діапазон температури (°С)	10-35
Діапазон тиску (кПа)	80-120
Діапазон вологості (%)	15-95
Розрахований резистор RG (кому)	100

Таблиця Б.3 - Технічна дані датчика діоксида сірки SO2-AE і SO2-BF

	SO2-AE	SO2-BF
Діапазон (млн-1)	0-2,000	0- 100
Чутливість (на/млн-1)	55 -80	300- 440
Дозвіл (млн-1)	< 1.5	< 0.1
Час відгуку (t ₉₀) (сек)	< 25	< 30
Нульовий потік (млн-1 при 20 °С)	< ± 5	< ± 0.5
Межа (млн-1)	10,000	500
Термін служби (мес.)	> 24	> 24
Діапазон температури (°С)	-30 +50	-30 +50
Діапазон тиску (кПа)	80-120	80-120
Діапазон вологості (%)	15-90	15-90
Розрахований резистор RG	32	120

Таблиця Б.4 - Технічні дані датчика метану СН-А3

Діапазон (%)	0-100
Чутливість (мВ/%)	15-21
Час відгуку (t ₉₀) (сек)	< 15
Нульовий потік (мВ)	±20
Термін служби (місяці)	> 24
Діапазон температури (°С)	-40-55

Таблиця Б.5 - Технічні дані датчика монооксида азоту NO-AE і NO-D4

	NO-AE	NO-D4
Діапазон (млн-1)	0 - 5,000	0 - 100
Чутливість (на/млн-1)	60 -100	500 - 750
Дозвіл (млн-1)	< 1	< 0.1
Час відгуку (t ₉₀) (сек)	< 45	< 10
Нульовий потік (млн-1 при 20 °С)	0 - 5	0 - 1
Межа (млн-1)	10,000	200
Термін служби (мес.)	> 24	> 24
Діапазон тиску (кПа)	80-120	80-120
Діапазон вологості (%)	15-90	15-90
Рассчитанный резистор RG (кому)	10	67

ДОДАТОК В

Технічні й експлуатаційні характеристики розробленого газоаналізатора

Таблиця В.1 – Вимірювані параметри

Аналізований газ	Діапазон вимірів	Межі погрішності, що допускається
SO ₂	0 - 2000 ppm 0 - 5 315 мг/м ³	не нормований (визначення з розрахунку)
NO	0 - 5000 ppm 0 - 6 236 мг/м ³	не нормований (визначення з розрахунку)
CO	0 - 10000 ppm 0 - 11 644 мг/м ³	не нормований (визначення з розрахунку)
CO ₂	0,2 - 95 про%	не нормований (визначення з розрахунку)
CH ₄	0 - 100 про%	не нормований (визначення з розрахунку)
Температура повітря	-40..+125 °C	абсолютна ±0.3 ^{oc}
Вологість повітря	0-100 % (при температурі крапки роси -20..+60 °C)	відносна ±2 % rh

Таблиця В.2 – Розрахункові параметри

Обсяг енергонезалежної пам'яті EEPROM	512 байт
Обсяг пам'яті ОЗУ	1024 байт
Кількість збережених вимірів	10
Швидкодія	510,31 мс
Максимальна потужність	0,814 Вт

Таблиця В.3 – Експлуатаційні характеристики

Маса	до 1 кг
Робоча температура	+5 ... +45°C
Температура зберігання	-20 ... +60°C
Живлення	9 В (АС)