

# ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

<sup>1</sup> Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

<sup>2</sup> Національний центр управління та випробувань космічних засобів

<sup>3</sup> Національний університет «Київський політехнічний інститут»

## *Анотація*

*Розглянуто особливості використання аерокосмічних технологій та дистанційного зондування Землі для здійснення екологічного моніторингу довкілля та природних ресурсів з використанням систем штучного інтелекту та нейронних мереж.*

**Ключові слова:** аерокосмічні технології, дистанційне зондування Землі, екологічний моніторинг, навколишнє середовище, системи штучного інтелекту, нейронні мережі, системи штучного інтелекту.

## *Abstract*

*The peculiarities of the use of aerospace technologies and remote sensing of the Earth for ecological monitoring of the environment and natural resources using artificial intelligence systems and neural networks are considered.*

**Keywords:** aerospace technologies, remote sensing of the Earth, environmental monitoring, environment, artificial intelligence systems, neural networks, artificial intelligence systems.

## **Вступ**

Світовий досвід довів, що для підвищення якості, оперативності, комплексності та ефективності системи моніторингу довкілля необхідно поєднувати сучасні інноваційні засоби і технології: автоматизовані та автоматичні вимірювальні системи; аерокосмічні дослідження з використанням як супутників, так і літаків та безпілотних літальних апаратів; системи автоматизованої обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ); геоінформаційні аналітичні системи для обробки інформації, з урахуванням закономірностей її зміни і у часі, і у просторі; комплексні багаторівневі системи моніторингу і контролю стану довкілля, які забезпечуватимуть інтегрування та комплексний аналіз даних про стан усіх складових довкілля як окремих регіонів, так і усієї країни в цілому з можливістю обміну даними з аналогічними міжнародними системами моніторингу; методи та технології аналізу даних моніторингу довкілля та визначення рівня техногенної та екологічної безпеки та ін. [1, 2].

Метою роботи є обґрунтуванні концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж, а також розкриття особливостей застосування аерокосмічних технологій та формалізація напрямів удосконалення систем екологічного моніторингу з використанням систем штучного інтелекту та нейронних мереж.

## **Результати дослідження**

Порівняно нові наукові напрями досліджень - екологічна безпека, технологія захисту навколишнього середовища вивчають взаємодію суспільства з природним середовищем у процесі сталого розвитку. Фахівці у цій галузі вважають, що правильно організована планова діяльність підприємств та організацій, у тому числі успішно вибрані системи захисту навколишнього середовища або природо-

охоронні заходи, дозволить вирішити проблему гармонійної взаємодії людини (суспільства) та природи [1, 2].

Науково-технічне обґрунтування підходів та методів інтеграції аерокосмічних технологій в систему управління екологічною безпекою передбачає виконання наступних етапів:

аналіз сучасних проблем створення інтегрованих автоматизованих систем стратегічного екологічного оцінювання, оцінки впливу на довкілля, оцінки екологічних ризиків;

розробка технології використання аерокосмічних технологій для управління екологічною безпекою планової діяльності підтримки прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій природного характеру;

розробка концептуально-методичних основ побудови інтегрованої автоматизованої системи управління екологічною безпекою за допомогою космічних систем дистанційного зондування Землі;

ідентифікація екологічних загроз та ризиків за допомогою інтегрованих автоматизованих систем та розробка методології формування управлінських інформаційних рішень в інтегрованих автоматизованих системах за допомогою космічних систем дистанційного зондування Землі;

прийняття управлінських рішень по зміцненню екологічної безпеки як складової національної безпеки Держави.

Інтегрована система екологічного моніторингу наступні складові: наземний пункт управління, комплекси супутникових систем спостереження, гелікоптери, безпілотні літальні апарати, наземні стаціонарні та мобільні підсистеми, з різними типами сенсорів, а крім того ще й мережі наземних сенсорів (рис. 1).

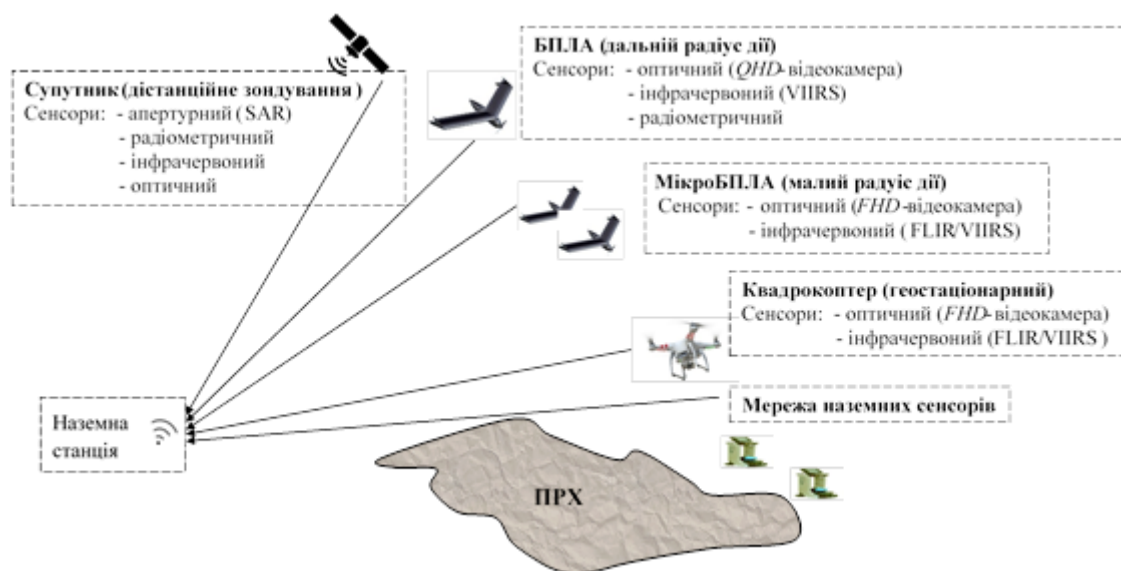


Рис. 1. Інтегрована система моніторингу екосистеми

Концептуальна схема інтегрованої системи управління екологічною безпекою включає наступні компоненти: множину космічних апаратів, безпілотні літальні апарати, наземні пункти спостереження, обладнаних спеціальною апаратурою; інфраструктуру для наземної підтримки аерокосмічного спостереження та обладнання для контролю за безпілотними літальними апаратами; супутники дистанційного зондування Землі та пункти прийому космічної інформації; наземний командний центр, що містить обладнання для здійснення комунікацій та обчислень, системи прийняття управлінських екологічних рішень. Впровадження методів інтеграції аерокосмічних технологій в систему управління екологічною безпекою дозволить на більш високому методичному рівні, актуально і аргументовано застосовувати космічні системи ДЗЗ для виконання завдань у сфері національної безпеки Держави, захисту довкілля та природних ресурсів України, а також у рамках реалізації заходів, визначених у Постанові Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 року № 391 «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля».

У теперішній час є ефективним використання інтелектуальної технології експертної оцінки та підтримки прийняття рішень з використанням даних аерокосмічних спостережень з метою її застосування при розробці систем прогнозування критичних ситуацій, зменшення витрат, пов'язаних з ліквідацією їх наслідків. Проведений аналіз існуючих систем екологічного моніторингу свідчить про необхідність їх удосконалення при дефіциті часу та можливості прогнозування розвитку надзвичайних екологічних ситуацій.

У роботі розглядаються концептуальні питання побудови інформаційних систем, орієнтованих на підтримку прийняття екологічних рішень. Створено концептуальну схему інформаційних потоків, в результаті чого запропонована структура системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень з використанням штучного інтелекту. Запропоновано використовувати технології GRID, які є одним із перспективних напрямків розвитку програмного забезпечення багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації. Під терміном система підтримки прийняття екологічних рішень (СППЕР) зазвичай розуміється інструментарій вироблення рекомендацій для особи, яка приймає рішення (ОПР), на основі ранжування кінцевої множини альтернатив (екологічних рішень) або оптимізації їх на нескінченній множині.

СППЕР допомагають вирішувати завдання, які традиційно вважають «інтелектуальними». Це діагностика проблемних екологічних ситуацій із різних галузей, формування, прийняття управлінських рішень. Такі завдання існували завжди, але сьогодні завдяки розвитку комп'ютерних систем їх вирішення стало практично можливим на основі формальних методів. Основні труднощі пов'язані з необхідністю одночасного обліку безлічі взаємозалежних чинників, які впливають на вирішення завдання, що призводило до великих інформаційних масивів, які не можна аналізувати «вручну». Крім того, широке практичне впровадження СППЕР стримувалося тим, що не всі організації, які хотіли б використовувати ці системи, мали достатні інформаційно-обчислювальні ресурси.

Здешевлення апаратного забезпечення, виникнення потужних систем управління базами даних та інструментальних засобів розробки програм змінило ситуацію. Зараз замовники подібних систем здебільшого мають або вже існуючу інформаційну базу, що зберігається в ЕОМ, або достатніми фінансовими ресурсами для її створення [3, 4].

Характерною рисою слабо структурованих завдань (екологічних рішень), які найбільше вимагають залучення СППЕР, є багатокритеріальність [3], яка полягає в тому, що якості прийнятих екологічних рішень не можна оцінити за допомогою єдиного скалярного показника і доводиться вдаватися до векторного критерію, наприклад врахування ефективності, вартості, часових показників тощо.

Для вирішення труднощів ранжування і оптимізації альтернатив, що виникають при цьому, пропонується використовувати неформальні методи скаляризації, що спираються на судження ОПР (експертів). Узагальнена база даних формується відповідно до загальних принципів побудови сховищ даних та знань. Для представлення структури управління програмними системами використовуються різні формалізми, зокрема й мережі Петрі [5, 6]. Формальний апарат цих мереж доцільно використовувати для моделювання впорядкування подій та потоку інформації.

Функціональний аналіз прикладних систем, що ґрунтуються на знаннях, зазвичай здійснюється в рамках міжнародного стандарту IDEFO [5, 6]. Така методологія дозволяє уявити формальну модель інтегрованої системи інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації в нотації стандарту IDEFO (рис.2).



Рис. 2. Архітектура системи інтелектуальної підтримки екологічних рішень

Інтелектуальна система поєднує формальні методи аналізу та інтерпретації інформації при вирішенні завдань динаміки складного об'єкта з евристичними методами та екологічними моделями, що базуються на досягненнях комп'ютерної математики, знаннях експертів, імітаційних моделях, накопиченому досвіді. Система включає ряд модулів, що взаємодіють між собою, виконують певні функції відповідно до загальної стратегії функціонування. Крім традиційних для систем інтелектуальної підтримки модулів, система містить модулі імітації, аналізу та прогнозу проблемної ситуації (моделювання), організації різних видів інтерфейсу.

На рис.3 наведено потік інформації у завданнях моделювання та візуалізації в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

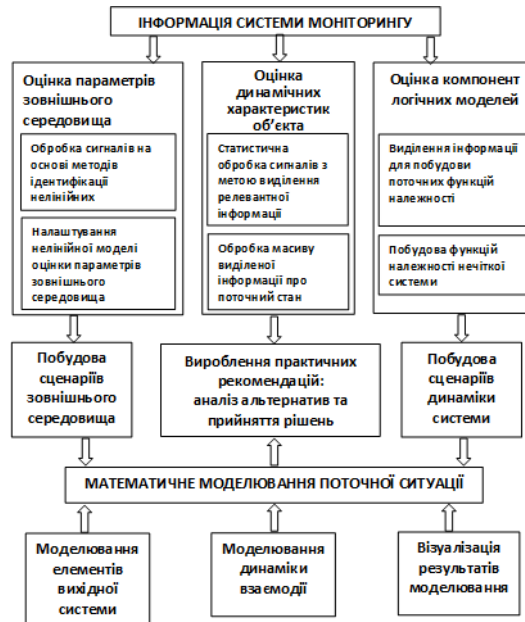


Рис.3. Потік інформації у завданнях моделювання та візуалізації в інтелектуальній системі підтримки прийняття управлінських екологічних рішень

Алгоритми аналізу та прогнозу ситуації дозволяють відновлювати поточні характеристики зовнішніх збурень та параметри екологічного об'єкта, а також побудувати фактичні значення функцій приналежності, що визначають логіку функціонування динамічної бази знань (оцінку небезпеки ситуації та прогноз її розвитку) на основі фактичних даних про стан зовнішнього середовища та екологічного об'єкта.

Система інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень має такі відмінні властивості: складність розподіленою структурою (структурна складність); багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність); необхідність обліку та формалізації невідзначеності (інформаційна складність); врахування особливостей розробки (проектна складність).

Інформаційний простір, що надається системою інтелектуальної підтримки, забезпечує можливість взаємодії екологічних експертів під час вирішення завдань аналізу та інтерпретації екологічної інформації на всіх стадіях виконання екологічних розрахунків та моделювання екосистем при здійсненні екологічного моніторингу на розробки технологій захисту навколишнього середовища.

Інформаційна модель інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації екологічної інформації представляється як безліч екологічних моделей, що складаються з окремих наперед визначених інформаційних моделей екологічних об'єктів. Адаптивна компонента (модуль адаптації), що забезпечує функціонування системи на базі інформаційної моделі, передає знайдене системою рішення ОПР для подальшого аналізу та інтерпретації. Прогнозування інформаційних потреб та інтелектуальної підтримки полягає у визначенні екологічної ситуації (нештатні, аварійні, катастрофічні екологічні ситуації), формуванні та перетворенні інформації з урахуванням особливостей ОПР та рівня його професійної майстерності.

Концепція інтелектуальної системи сформульована як узагальнення та розвитку традиційних моделей обробки інформації з урахуванням високопродуктивних засобів обчислень. При розробці кон-

цептуальної моделі сформульовано принципи побудови та особливості застосування інтелектуальних систем під час здійснювання екологічного моніторингу, прогнозування розвитку надзвичайних екологічних ситуацій та інтерпретації екологічної інформації. Серед цих принципів слід виділити адаптивність, багатопроекторність та максимальну швидкість, відкритість, безперервність функціонування та живучість.

Інтелектуальна система має можливість еволюційного нарощування в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта та зовнішнього середовища.

## Висновки

Розглянуто особливості створення та застосування інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж. Визначено, що синтез моделей обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень в умовах розвитку екологічних процесів та впливу зовнішнього середовища на екосистему дозволяє вирішити проблеми створення баз знань, що еволюційно-самоорганізуються, а також систем адаптивного синтезу інформаційно-обчислювальних конфігурацій екосистем. Аналіз завдань, розв'язуваних інтелектуальною системою підтримки прийняття управлінських екологічних рішень, дозволяє виділити ряд особливостей: складність алгоритмів та велика кількість вихідних даних із суттєво різною структурою; наявність жорстких вимог щодо продуктивності обчислювальної системи, необхідність обчислень у режимі реального часу; потреба реалізації операцій між великою кількістю різнорідних об'єктів, включаючи операції збурення динамічних об'єктів, з урахуванням складної структури відносин між класами об'єктів. Концепція інтелектуальної системи сформульована як узагальнення та розвитку традиційних моделей обробки інформації з урахуванням високопродуктивних засобів обчислень. При розробці концептуальної моделі сформульовано принципи побудови та особливості застосування інтелектуальних систем під час здійснювання екологічного моніторингу, прогнозування розвитку надзвичайних екологічних ситуацій та інтерпретації екологічної інформації. Серед цих принципів слід визначити наступні: адаптивність, багатопроекторність та максимальну швидкість, відкритість, безперервність функціонування та живучість. Процес розробки концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття управлінських рішень в галузі екологічної безпеки передбачає формалізацію наступних процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень в системах екологічного управління; формування архітектури системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформації в системі. Обґрунтована архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Визначено, що система інтелектуальної підтримки має такі відмінні властивості: складність розподіленої структури (структурна складність); багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність); необхідність обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність); необхідність врахування особливостей розробки (проектна складність).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білявський Г. О. Основи екології / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков. - К.: Либідь, 2005. 408 с.
2. Бондар О.І. Моніторинг навколишнього середовища / [О. І. Бондар, І. В. Корінко, В. М. Ткач, О. І. Федоренко]; під ред. О. І. Федоренко. К.Х.:ДЕІ-ГТІ, 2005. – 126 с.
3. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеев В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020.-№ 3(30), 2020, с. 30-38.
4. Васильєв В.І., Шевченко О.І. Штучний інтелект: Формування та впізнання образів. -Донецьк: Дон. ДНДІ, 2000, 360 с.
5. Машков О.А., Абідов С.Т., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Особливості екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень/ Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, Випуск 1(46), 2023,№ 5(44), с. 168-174.
6. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень / Науковий часопис Академії національної безпеки, №3-4 (27-28) 2020, с. 7-34.

**Машков Олег Альбертович** — доктор технічних наук, професор, професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ, e-mail: mashkov\_oleg\_52@ukr.net

**Печений Володимир Леонідович** – завідувач лабораторією прикладної екології, викладач, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ

**Присяжний Володимир Ілліч** — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник центру, Національний центр управління та випробувань космічних засобів, м. Київ

**Оводенко Тамара Сергіївна** — аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ

**Мухіна Катерина Євгенівна** — кандидат технічних наук, старший викладач, Національний технічний уні-

верситет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

***Mashkov Oleg Albertovych*** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Environmental Safety, State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, e-mail: mashkov\_oleg\_52@ukr.net; [olegvvvv@gmail.com](mailto:olegvvvv@gmail.com)

***Pechenyi Volodymyr Leonidovych*** - Head of the Laboratory of Applied Ecology, State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, Ukraine

***Prysyazhny Volodymyr Ilyich*** — candidate of technical sciences, senior researcher, head of the center, National Center for Control and Testing of Space Means, Kyiv

***Ovodenko Tamara Serhiyivna*** — PhD student, State Environmental Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv

***Mukhina Kateryna Evgenivna*** — candidate of technical sciences, senior lecturer, National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorskyi Kyiv Polytechnic Institute"