

ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Машков О.А., Абідов С.Т., Івашенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
mashkov_oleg_52@ukr.net , tvn.prof@gmail.com

Означені особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень, а також запропонована математична формалізація завдання екологічного прогнозування. Аналіз функцій системи екологічного прогнозування дозволив окреслити архітектуру штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Побудова штучних інтелектуальних системи екологічного прогнозування в системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень сприяє забезпеченню екологічної безпеки природно-господарських систем, що дає змогу отримати набір рекомендацій щодо ефективного еколого-економічного управління, спрямованого на досягнення розумного компромісу між інтересами підприємств та екологічною безпекою конкретного району чи регіону в цілому. Процедура екологічного прогнозування доцільно використовувати у позаштатних, нестандартних, надзвичайних аварійних та катастрофічних екологічних ситуаціях. В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки поданої теми слід зазначити, що отримані результати можуть використовуватися у підсистемах екологічного моніторингу техногенно-небезпечних об'єктів, робота яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин в довкілля. Крім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктів критичної інфраструктури. Система підтримки ухвалення управлінських екологічних рішень має здатність підвищувати готовність керівників до виконання завдань з попередження та ліквідації наслідків аварії в умовах високого ступеня невизначеності, формувати у них відповідний рівень знань та уміння оцінювати довгострокові прогнози, незважаючи на неповну вихідну інформацію. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системі підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

Prospects and problems of creating intelligent support systems for environmental decision-making. Mashkov O., Abidov S., Ivashchenko T., Ovodenko T., Pechenyi V.

The paper identifies the features of environmental forecasting in the management decision support system and proposes a mathematical formalization of the environmental forecasting task. The analysis of the functions of the ecological forecasting system made it possible to propose an architecture of artificial intelligent systems for supporting the adoption of managerial ecological decisions. The construction of artificial intelligent environmental forecasting systems in support systems for making managerial ecological decisions contributes to ensuring the ecological safety of natural and economic systems and allows obtaining a set of recommendations for effective ecological and economic management, aimed at achieving a reasonable compromise between the interests of enterprises and the environmental safety of a particular district or region in general. It is advisable to use the procedure of environmental forecasting in non-standard, non-standard, emergency and catastrophic environmental situations. As part of the recommendations and prospects for further development of the presented topic, it should be noted that the obtained results can be used in subsystems of environmental monitoring of man-made hazardous objects, the work of which is related to the emission of pollutants into the environment. In addition, they can be the basis for further scientific research on improving the quality of environmental management of the state of the environment and critical infrastructure facilities. The support system for making managerial environmental decisions has the ability to increase the readiness of managers to work on the prevention and elimination of the consequences of an accident in conditions of a high degree of uncertainty, to form their ability to take into account long-term forecasts, despite the vagueness and incompleteness of the initial information. *Key words:* environmental safety, ecological system, ecological forecasting, environment, neural network, fuzzy logic, management decision support system, management decisions, artificial intelligent system.

Постановка проблеми. Екологічна безпека еко-систем – одна з найважливіших соціальних проблем глобального характеру, що потребує широкого впровадження різних організаційних та технічних заходів, спрямованих на поліпшення стану навколишнього середовища [3–5].

Аналіз сучасних напрямів розвитку систем екологічної безпеки регіонів дозволив зробити висновки про те, що в умовах погіршення екологічної обстановки різних регіонів дослідження завдань управління екологічною безпекою за допомогою інтелектуальних систем підтримки прийняття

управлінських екологічних рішень є актуальним. При цьому огляд поточного стану та можливостей розвитку відповідного науково-методичного апарату штучних інтелектуальних систем вказує на необхідність розробки моделей та методик, заснованих на теорії штучних нейронних мереж та нечіткої логіки. Такий підхід дозволить здійснити облік багатofакторності розв'язуваних екологічних завдань екологічного прогнозування [1; 2].

Екологічне прогнозування передбачає встановлення відповідності наміченої господарської та іншої діяльності екологічним вимогам та здатності

реалізації об'єкта спостереження з метою запобігання можливим несприятливим впливам такої діяльності на навколишнє природне середовище та пов'язаних з ними екологічних та інших наслідків.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Реалізація вимог та директиви Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом передбачають розробку та впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою. Створення такої системи відповідає європейським і світовим підходам до екологічного управління та значно розширить можливості міжнародної співпраці України у галузі охорони навколишнього природного середовища, що сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог. Екологічне прогнозування є складовою системи екологічного управління, сприяє підвищенню екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері. Тому потрібні наукові розробки сучасних технологій екологічного прогнозування при здійсненні екологічного управління [3–6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема створення інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень була розглянута в працях багатьох авторів [1; 2; 7–13].

Питання використання інтелектуальних технологій для реалізації інформаційної підтримки прийняття рішень розглянуто в працях [1; 2].

Так автори [11; 12] описують інструментарій (генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, оптимізація на основі рою частинок, моделювання на основі агентів, нейронні мережі) моделювання з використанням нечітких правил, когнікарт, кумулятивних степенів.

Авторами [13] дано обґрунтування побудови експертної системи підтримки прийняття рішень в інтелектуальній системі екологічного моніторингу, наведено результати аналізу, що підтверджують правильність вибору байєсівських мереж довіри як методу побудови експертної системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє їй ефективно функціонувати в умовах невизначеності.

Проведений аналіз свідчить, що на сьогодні залишаються невирішеними питання щодо наукового обґрунтування створення інтелектуальних систем екологічного прогнозування. Порівняльний аналіз з відомими рішеннями запропонованих нових рішень дозволяє визначити інші підходи до екологічного прогнозування в системі управління екологічною безпекою під час застосування інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави можливо здійснювати шляхом впрова-

дження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, глобальних інформаційних мереж, автоматизація технологій отримання, обробки, представлення візуалізації екологічної інформації.

Запропонований підхід дозволить застосовувати інформаційні, організаційні та оперативні управлінські рішення в системах управління екологічною безпекою регіонів під час здійснення екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Мета дослідження полягає у науковому обґрунтуванні перспектив та проблем створення систем екологічного прогнозування для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища регіонів на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж.

Об'єктом досліджень є проблеми створення штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки екосистем.

Предметом досліджень є визначення особливостей екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень

Методологія та методи дослідження. Для ефективного здійснення досліджень використані ефективні методи відповідних операцій, обробки інформації, теорії управління організаційно-технічними системами та розподілених систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж.

Результати досліджень.

Особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень

Екологічне прогнозування ґрунтується на системологічному аналізі проблемної області, а саме визначення специфіки (обсяг та тривалість) прогнозу: оцінка впливу на навколишнє середовище, національний план дій з охорони навколишнього середовища, Стратегія державної екологічної політики України тощо [3–6].

Наукове завдання підтримки прийняття управлінських рішень під час екологічного прогнозування передбачає формалізацію таких процесів: підготовка та отримання початкових даних; формування управлінських дій (алгоритм дій); оцінка прогнозування. При цьому варто зважати на людський фактор: можливі помилки, іноді некомпетентність за відсутності повної та достовірної інформації, непередбачені ситуації як природного, так і техногенного характеру).

Процес побудови автоматизованих систем екологічного прогнозування ґрунтується на результатах аналізу існуючих підходів, враховуючи класифікацію процесів екологічного прогнозування як за територіальною ознакою (місцевість, районування, регіональний підхід, загальнодержавний, континентальний (глобальний) тощо), так і за часовими

ознаками (короткострокові, середньострокові, довгострокові).

Концептуально-методичні основи побудови автоматизованої системи підтримки прийняття управлінських рішень під час екологічного прогнозування передбачають:

- створення структури штучної інтелектуальної системи підтримки прийняття управлінських рішень;
- розробку концепцій прийняття інформаційних, організаційних та оперативних рішень;
- синтез алгоритму прийняття управлінських екологічних рішень.

Створення моделей екологічного прогнозування базується на відповідних концепціях:

- побудова моделей екологічного прогнозування за територіальною ознакою (моделі розвитку екологічних процесів від маленьких територій до глобальних масштабів);
- концепція побудови моделей екологічного прогнозування по часовому признаку (моделі екологічних процесів від короткострокових до тривалих, – зміна клімату);
- концепція побудови моделей екологічного прогнозування за руйнівною ознакою (моделі техногенних та природних катастроф: смерч, повінь, пожежа тощо).

Прогнозуючі моделі мають враховувати також ергатичні особливості автоматизованої системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень. Потрібно визначити вимоги до професійної підготовки особи, яка отримує запропоновані рішення від інтелектуальної системи (час та можливі

помилки) осіб, які задіяні в системі отримання, передачі та обробки екологічної інформації та які приймають рішення).

Технологія застосування моделей екологічних об'єктів під час екологічного прогнозування передбачає:

- якісну оцінку екологічної небезпеки, оцінку екологічних загроз, якісну оцінку компонентів екологічного ризику;
- діагностику екологічних ситуацій на основі аналізу екологічного ризику;
- формування структури комплексу інформаційних процесів в системі підтримки прийняття екологічних рішень (моніторинг, моделювання екологічних процесів і аналіз ризику, діагностика ситуації, візуалізація ситуації).

Запропонований підхід дозволяє визначити архітектуру програмного продукту, модульну декомпозицію програмного продукту, склад і формат вхідних і вихідних даних, опис експерименту, оцінювання результатів експерименту тощо.

Процес екологічного прогнозування може бути представлена у вигляді 5 стадій (рис. 1). Кожна стадія використовує свій час і вимагає інформаційних ресурсів.

1. Планування процесу екологічного прогнозування. На цій стадії враховують такі фактори:

- екологічне прогнозування інформаційних рішень пропонує відповіді на такі запитання:
- які цілі і завдання екологічного прогнозування?
- які цілі мають вищий пріоритет?
- які цілі керівництва, що стоїть вище особи, яка приймає рішення?

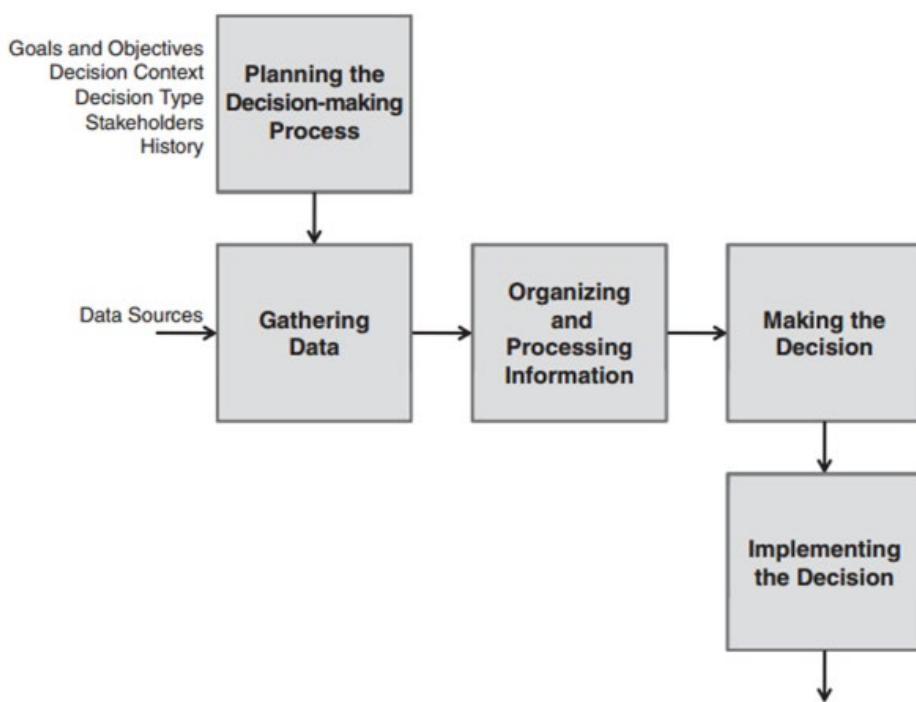


Рис. 1. Схема організації екологічного прогнозування

Екологічне прогнозування організаційних рішень щодо реалізації пропозицій екологічного прогнозування пропонує відповіді на наступні питання:

– чи є рішення подвійним (так/ні), або потрібно вибрати з кількох варіантів (яких)?

– приймається рішення одноосібно, або потрібно досягти консенсусу (хто ще повинен підтвердити рішення)?

Екологічне прогнозування управлінських оперативних рішень пропонує відповіді на наступні питання:

– яка сфера дії екологічного прогнозу – місцеве, регіональне, глобальне?

– яка проблема чи питання привели до необхідності прийняти рішення екологічного прогнозування?

– які технічні можливості здійснення екологічного прогнозу?

– які фінансові можливості реалізації факторів прогнозу (фінансові інструменти та обсяги інвестування)?

– які кадрові ресурси задіяно для впровадження управлінських рішень реалізації екологічного прогнозування?

– які потрібні ділові та технічні процедури, методи та прийоми?

2. Збір даних щодо здійснення екологічного прогнозування.

3. Організація та обробка екологічної інформації.

4. Прийняття управлінських екологічних рішень.

5. Реалізація рішення.

Математична формалізація завдання екологічного прогнозування

Розглядаючи завдання прогнозування стану довкілля як базового математичного апарату дослідження доцільно вибрати теорію розпізнавання образів та методологію м'яких обчислень. При цьому хороших результатів вдається досягти при поєднанні методологій класичної теорії розпізнавання образів, теорії нечіткої логіки прийняття рішень Л. Заде, теорії впевненості Е. Шортліфа та розвідувального аналізу із синтезом гібридних моделей прийняття рішень у гетерогенному просторі ознак. Такий тип моделей становить основу побудови бази знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень. До складу цієї системи також входять підсистема збору та попередньої обробки даних, що складається з рухомих та стаціонарних станцій, а також система передачі даних.

Інтелектуальним ядром системи є база знань, побудована на основі нечітких гібридних моделей. Основу таких моделей становлять функції впевненості (приналежності) до досліджуваних класів станів довкілля, які агрегуються у проміжні та фінальні правила прийняття рішень з урахуванням структури даних, що характеризують досліджувану екологічну обстановку.

У цьому завданні синтезу гібридних вирішальних правил сприймається як завдання нечіткого поділу

багатовимірних образів з різними класами екологічного стану середовища проживання і стан здоров'я людей, які контактують із цим середовищем.

У такій інтерпретації функції приналежності $\mu(x_i)$ описують у багатовимірному просторі ознак нечіткий гіперпаралелепіпед, у який «вписано» клас станів ω . Приналежність U класифікації ω визначається виразом

$$U = \min [\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_n)], \quad (1)$$

де n – розмірність простору ознак; x_i – i -та координата ознак ($i = 1, \dots, n$), що описують стан досліджуваних образів, що визначається за допомогою операції логічного множення.

Апроксимації структур досліджуваних класів станів можна досягти, представляючи кожен із класів безліччю нечітких гіперпаралелепіпедів $U(k)$, де $k=1, \dots, K$. У такому варіанті впевненість у віднесенні об'єкта до класу визначається виразом

$$U = \max [U(1), U(2), \dots, U(k)], \quad (2)$$

Де кожна складова $U(k)$ визначається виразом (1). При геометричній постановці задачі нечіткої класифікації крім апроксимації гіперпаралелепіпедами можна використовувати роздільні гіперповерхні щодо яких визначаються функції впевненості в класифікації $\mu(d)$, де базова змінна d визначається як відстань від поверхні, що розділяє, до об'єктів багатовимірному простору ознак. Базова змінна d визначається виразом

$$\sum_{d=1}^n a_i * x_i$$

де a_i – вектор параметрів, що визначає орієнтацію гіперплощини в багатовимірному просторі ознак.

Для формалізованого представлення знань у системі запропоновано формувати групу продукційних правил із використанням лінгвістичних змінних. Ці правила та моделі відповідають опису керуючих впливів, спрямованих на зменшення викидів забруднюючих речовин при виникненні аварійної ситуації внаслідок відхилення технологічних параметрів процесів від норми або перевищення викидів забруднюючих речовин на джерелах, що постійно діють.

Для вирішення завдання екологічного прогнозування запропоновано використовувати експертні моделі прийняття рішень на основі методу ранжування альтернатив та порівняння за перевагою. В цьому випадку завдання прийняття рішень щодо оперативного управління екосистемою полягає у пошуку таких альтернативних варіантів керуючих впливів, які забезпечують найменший вплив забруднюючих речовин на навколишнє середовище та персонал у результаті розвитку аварії.

Для вирішення даної задачі пропонується підхід, що включає два основні етапи.

На першому етапі для різних аварійних ситуацій проводиться оцінка значень можливої екологічної та соціальної шкоди і визначаються найбільш небезпечні аварійні ситуації та сценарії їх розвитку з точки зору тяжкості наслідків аварії. Проводиться ранжування альтернатив із використанням методів упорядкування за ступенем збитків.

На другому етапі здійснюється вибір перспективних керуючих впливів і для обраних на 1-му етапі найбільш небезпечних екологічних аварійних ситуацій та сценаріїв їх розвитку. Переважними вважаються керуючі рішення, що забезпечують найменший вплив забруднюючих речовин на екосистему та персонал у разі розвитку аварії з використанням мінімальної кількості ресурсів та реалізовані за мінімальні терміни.

Поруч із оперативним прийняттям рішень слід розглянути підхід до вирішення завдання багатокритеріального вибору заходів, вкладених у зниження впливів забруднюючих речовин під час модернізації (реконструкції) підприємств. Така задача є одним із завдань екологічного прогнозування, вирішення якої спільно із завданнями оперативного прийняття рішень дозволяє досягти якісно нових результатів та актуальне для всіх типів джерел забруднення.

Таким чином, науково-методичний апарат підтримки прийняття рішень при забезпеченні екологічної безпеки регіону включає: структурну модель підтримки прийняття рішень при управлінні екологічною безпекою регіону на основі нечіткої вихідної інформації; методику підтримки прийняття рішень під час управління екологічною безпекою регіону на основі нечіткої вихідної інформації; методику сценарного оцінювання на основі нечітких показників.

Функції системи екологічного прогнозування

Система екологічного прогнозування виконує кілька функцій.

По-перше, вона призначена для довгострокового зберігання та оперативного використання інформації, моделей, методів, алгоритмів, прикладного програмного забезпечення для прийняття рішень щодо управління якістю атмосферного повітря на територіях, що безпосередньо прилягають до хімічних підприємств. У разі виникнення технологічних відхилень, виробничих та організаційних порушень, що призводять до перевищення концентрацій забруднюючих речовин від джерел, що постійно діють, система видає рекомендації, що дозволяють зменшити ефект від впливу на навколишнє середовище внаслідок залпових і аварійних викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

По-друге, система екологічного прогнозування може використовуватися для вироблення довгострокових рішень, пов'язаних з технічними та технологічними нововведеннями, удосконаленнями, спрямованими на поліпшення екологічної обстановки в екосистемі та зменшення негативних впливів, пов'язаних із систематичними викидами забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

Під час виведення результату користувач отримує не тільки результати прогнозу, але й одразу всі можливі варіанти вирішення екологічної проблеми, якщо вона є.

Так, при виявленні перевищення значень концентрацій станціях контролю ситуаційно-рекомендуюча система ідентифікує джерело забруднення. Для якіснішого прийняття рішень проводиться прогнозування наслідків розвитку аварійної ситуації чи перевищує викиду та еколого-економічний аналіз. Отримана інформація далі передається до керуючої підсистеми СППР для прийняття рішень, після реалізації яких зміни технологічних параметрів процесу фіксуються в підсистемі збору та зберігання даних.

Штучна інтелектуальна система вирішує такі завдання:

- вибір раціональних схем розміщення стаціонарних станцій спостереження та маршрутів пересування мобільних лабораторій;
- класифікація стану довкілля;
- оцінка ризику розвитку несприятливих екологічних ситуацій;
- оцінка ризику виникнення, розвитку та рецидивів загострення захворювань людини та тварин, що викликаються шкідливим впливом екологічних факторів;
- формування раціональних схем керування екологічною обстановкою.

Основними цілями екологічного прогнозування є:

- збір інформації для прогнозування можливого розвитку аварії та її наслідків;
- мобілізація ресурсів, необхідні ліквідації аварії; розробка спеціальних прогнозів, що дозволяють ефективно реагувати на очікувані наслідки аварії;
- паспортизація та категоризація об'єктів – джерел викидів небезпечних речовин (підприємств, цехів, ділянок, технологічних установок, регіонів тощо).

У безаварійному режимі особи, які приймають рішення з використанням системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень визначають та створюють нормативні, законодавчі та економічні механізми, спрямовані на мінімізацію ризиків та збитків від аварії.

Ефективне екологічне прогнозування має не тільки прогнозувати виникнення можливих аварійних ситуацій, але й передбачати вжиття відповідних превентивних заходів. При цьому слід здійснювати усунення основних причин виникнення екологічних аварій, а не їх наслідків.

Прогнозування виникнення екологічної аварії та превентивне планування дій щодо її запобігання базуються на своєчасній оцінці тенденцій розвитку поточної ситуації в районі спостереження, а також ресурсів, необхідних для її покращення, стабілізації та зниження тяжкості наслідків розвитку аварійної екологічної ситуації.

Відсутність необхідної інформації часто стає основною перешкодою для організації заходів щодо раннього запобігання екологічним аваріям.

Усунення цього недоліку можна здійснити на основі використання аерокосмічних технологій, космічних апаратів дистанційного зондування Землі, безпілотних літальних апаратів, мобільних об'єктів екологічного моніторингу.

Завдання оцінки ефективності прогнозованих заходів полягає у пошуку альтернатив (керівних рішень), що забезпечують мінімізацію викидів забруднюючих речовин за наявності обмежень на витрати з різних видів ресурсів (використання надійних систем управління; заміна обладнання на більш ефективне; модернізація технологічних процесів).

Архітектура штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень

При визначенні архітектури штучної інтелектуальної системи враховуємо, що процедура екологічного прогнозування має реалізуватися як діалогова комп'ютерна система підтримки ухвалення рішень.

Штучна інтелектуальна система – це комплекс спеціального програмно-інформаційного забезпечення, який допомагає особі, яка приймає рішення, обирати ефективні (раціональні) рішення. Архітектура штучної інтелектуальної системи має ієрархічну структуру. Ієрархія представлена різними робочими рівнями функціонування: рівень підготовки; рівень моделювання; рівень тестування та рівень оптимізації.

Архітектура штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень враховує можливості сучасних біотехнічних технологій, що дозволяють контролювати стан довкілля за допомогою інтелектуальних датчиків, реєструють різні показники ступеня забруднення повітря, води, ґрунту. Ці датчики можуть розміщуватися як на стаціонарних пунктах (постах), так і мобільних лабораторіях.

Інтелектуальні можливості датчиків забезпечують їхню адаптацію до різних умов вимірювань, дозволяють дати користувачу попередню інформацію про стан навколишнього середовища у найзрозумілішій фахівцям екологічній формі. Структурними елементами інтелектуальної системи екологічного прогнозування є:

– інтегровані бази даних і знань, що містять інформацію про допустимі концентрації забруднюючих речовин, механізми їх перетворень та впливів;

– моделі забруднень та прийняття рішень щодо екологічної безпеки та запобігання подальшому надходженню цих речовин у воду, повітря, ґрунт, донні відкладення, рослинний покрив або про необхідність очищення цих об'єктів від вже накопичених у них забруднень;

– блок аналізу інтегрального екологічного техногенного впливу та отримання вторинної інформації про ефективність заходів та ін.

Архітектура штучної інтелектуальної системи складається з наступних основних блоків.

1. Блок взаємозв'язку або блок інтерфейсу (зв'язок між СППР та користувачем, тобто ЛПР).

2. Блок – база даних та блок комп'ютерного моделювання проблеми.

3. Блок чисельного розв'язування проблеми (вирішення проблеми за допомогою процедури векторної чи багатокритеріальної оптимізації).

4. База знань та машиною генерації (виведення) смислових рішень математично неформалізованих завдань.

5. Блок візуалізації рішення (наприклад, використання ГІС).

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень під час ліквідації аварій з викидом небезпечних речовин може функціонувати в різних режимах, за якими вирішуються спеціальні завдання на кожній фазі перебігу екологічної аварії на об'єкті.

У стаціонарному (безаварійному) режимі функціонування техногенно небезпечного об'єкта завдання системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень полягає у протиаварійному попереджувальному прогнозуванні.

Інтелектуальна система підтримки прийняття екологічних управлінських рішень щодо управління якістю екологічної системи здатна забезпечити вирішення трьох класів завдань екологічного прогнозування.

У рамках першого класу формулюється завдання оптимального оперативного управління екологічною системою у разі виникнення аварійних ситуацій та перевищення граничних значень концентрацій забруднюючих речовин від постійно діючих джерел. Таке завдання екологічного управління в умовах невизначеності окреслюється як пошук оптимальних керуючих впливів, спрямованих на мінімізацію всіх видів збитків для довкілля та персоналу екосистеми.

У межах другого класу формулюється завдання багатокритеріального прийняття рішень, створені задля зменшення викидів забруднюючих речовин постійно діючих джерел забруднення та зниження ймовірності виникнення аварійних екологічних ситуацій з допомогою методів порівняння альтернатив з урахуванням багатокритеріальної теорії корисності.

У межах третього класу завдань синтезується управління екологічної безпекою за умов невизначеності за допомогою сучасних методів штучного інтелекту.

Інтелектуальна комп'ютерна система екологічного прогнозування має інформаційно-моделюючу та керуючу підсистеми.

Висновки. У праці означені особливості екологічного прогнозування в системі підтримки прийняття управлінських рішень та запропонована математична формалізація завдання екологічного прогнозування.

Аналіз функцій системи екологічного прогнозування дає змогу запропонувати архітектуру штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Побудова штучних інтелектуальних системи екологічного прогнозування в системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень сприяє забезпеченню екологічної безпеки природно-господарських систем та дозволяє отримати набір рекомендацій щодо ефективного еколого-економічного управління, спрямованого на досягнення розумного компромісу між інтересами підприємств та екологічною безпекою конкретного району чи регіону вцілому.

Процедуру екологічного прогнозування доцільно використовувати у позаштатних, нестандартних, надзвичайних аварійних та катастрофічних екологічних ситуаціях.

В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки поданої теми слід зазначити, що отримані

результати можуть бути використані в підсистемах екологічного моніторингу техногенно-небезпечних об'єктів, робота яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин в довкілля. Крім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури.

Система підтримки прийняття управлінських екологічних рішень має здатність підвищувати готовність керівників до роботи з попередження та ліквідації наслідків аварії в умовах високого ступеня невизначеності, формувати у них відповідний рівень знань та уміння враховувати довгострокові прогнози, незважаючи на розпливчастість та неповноту вихідної інформації.

Література

1. Андон Ф.І., Захарова Е.Г., Резніченко В.А., Яшунін А.Т. *Інтелектуалізація інформаційних систем*. УСiМ, 1987. № 6. С. 84–92.
2. Васильєв В.І., Шевченко О.І. Штучний інтелект: Формування та впізнання образів. Донецьк : Дон. ДНДІ, 2000, 360 с.
3. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування : Монографія / Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова. К. : Основа. 2021. 60 с.
4. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв 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.
5. 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*. 2020. № 3-4 (27-28). С. 7–34.
6. Машков О.А., Іващенко Т.Г., Мухіна К.С. Застосування аерокосмічних технологій при управлінні екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою інтегрованих автоматизованих систем. *Науковий часопис Академії національної безпеки*. 2021. № 1-2 (29-30). С. 4–27.
7. Шевченка О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ІППІ, Наука і освіта, 2003. 228 с.
8. Gottinger. H. W., Weinmann. P. Intelligent decision support systems. *Decision Support Systems*. 1992. Vol. 8, No. 4. P. 317–332.
9. Официальный сайт организации-разработчика FuzzyGLIPS Электронный ресурс. URL: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>. Загл. с экрана.
10. Официальный сайт организации-разработчика EXSYS Электронный ресурс. URL: <http://www.exsysinfo.com/>. Загл. с экрана.
11. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management. *ELSEVIER*. 2015. № 65. С. 278–284.
12. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*. 2017. № 21. С. 112–117.
13. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS) Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6. С. 94–102.