
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.08:681.78:629.52.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.19>

ПАРАДИГМА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., 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

Розглянуто парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу до обробки інформації, що базується на розв'язанні концепції «м'яких обчислень». Такий підхід передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі. Для створення технології обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень запропоновано інформаційну модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень ґрунтується на розглянутих принципах, використання яких орієнтоване на нові покоління мультипроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в районі планової діяльності на засадах: відкритості та складності, конкуренції, формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, нелінійної самоорганізації. В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень слід зазначити, що отримані результати можуть використовуватися для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів з використанням аерокосмічних технологій отримання інформації щодо стану довкілля та техногенно небезпечних об'єктів. Окрім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом навколишнього природного середовища та об'єктів критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системі підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

The paradigm of information processing in the intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety. Bondar O., Mashkov O., Prisyazhnyi V., Ovodenko T., Pechenyi V.

The paper proposes a paradigm of information processing in an intelligent information system to ensure environmental safety as one of the promising areas of management systems in the field of ecology and natural resources.

Increasing the reliability of the assessment and forecast of environmental situations in the environmental safety management system based on artificial intelligence systems is achieved using a new approach to information processing based on the development of the concept of “soft computing”. This approach involves the use of theoretical principles that allow to rationally organize the computing technology of data processing, as well as to formalize the flow of information in a multiprocessor computing environment. To create an information processing technology in an intelligent decision support system, an information model of an integrated decision support environment is proposed. The paradigm of information processing in the intelligent decision-making support system is based on the considered principles, the use of which is oriented to new generations of multiprocessor computing environments, taking into account real data about the environmental situation in the area of planned activities: the principle of openness and complexity, the principle of competition, the principle of formalization of vague information in multiprocessor computing environment, the principle of complexity, the principle of non-linear self-organization. As part of the recommendations and prospects for the further development of intelligent support systems for making managerial environmental decisions, it should be noted that the obtained results can be used to ensure the environmental safety of the environment and natural resources using aerospace technologies for obtaining information about the state of the natural environment of man-made hazardous objects. 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 objects with the help of artificial intelligence systems. *Key words:* environmental safety, ecological system, ecological forecasting, environment, neural network, fuzzy logic, management decision support system, management decisions, artificial intelligent system.

Постановка проблеми. Нині наша планета погодних явищ, природних катаклізмів, які в найближчому майбутньому будуть тільки посилюватися та провокує виникнення екстремальних

погодних явищ, природних катаклізмів, які в найближчому майбутньому будуть тільки посилюватися та наростати, створюючи реальну загрозу для

існування цілих екосистем, біорізноманіття, людської цивілізації в цілому. Саме тому технології на основі штучного інтелекту, що зараз активно проникають у різноманітні сфери людського життя, можуть також допомогти людству підготуватися та адаптуватися до негативних кліматичних змін і погодних катаклізмів.

З використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, що стосуються окремих напрямків захисту довкілля та природних ресурсів. зокрема: оцінювання та прогнозування стану атмосферного повітря; оцінювання та прогнозування зміни клімату; оцінювання та прогнозування стану водних ресурсів; оцінювання та прогнозування стану біологічного та ландшафтного різноманіття, розвитку природно-заповідного фонду та формування національної екологічної мережі; оцінювання та прогнозування стану земельних ресурсів та ґрунтів; оцінювання та прогнозування стану надр; оцінювання та прогнозування стану поводження з відходами; оцінка стану об'єктів, що мають підвищену екологічну небезпеку; оцінювання та прогнозування стану промисловості та її впливу на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сільського господарства та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану енергетики та її впливу на довкілля; оцінювання та прогнозування стану транспорту та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сталого споживання та виробництва; розробка рекомендацій щодо здійснення державного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Для отримання нових знань з даних еколого-соціально-економічного моніторингу застосовуються методи інтелектуального аналізу просторових даних, які використовують сучасні геоінформаційні системи для регіонів України. Такий підхід дозволяє забезпечити здійснення кількісної оцінки рівня сталого розвитку, що є одним із пріоритетних завдань світової спільноти на ХХІ століття.

Керуючись завданням забезпечення екологічної безпеки довкілля та техногенне небезпечних об'єктів можна виділити мету інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень – зменшення негативного впливу об'єктів планової діяльності на природне середовище шляхом допомоги керівнику в процесі вибору для впровадження природоохоронного заходу, відповідних технологій захисту навколишнього середовища.

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 та світовим під-

ходам до екологічного управління, розширює можливість міжнародної співпраці України в галузі охорони навколишнього природного середовища. Така система управління екологічною безпекою сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог. Застосування інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки як 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 забезпечення екологічної безпеки та захисту навколишнього середовища при здійсненні екологічного управління з використання систем штучного інтелекту [1, 4, 5, 8, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки розглядалася в працях багатьох авторів [2, 4–12].

Питання формування та впізнавання образів у системах штучного інтелекту розглянуті в працях [2, 7, 12]. Генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, розглянуто в роботах [8–12]. В працях [4, 5] дано обґрунтування побудови експертної системи підтримки прийняття рішень у інтелектуальній системі екологічного моніторингу, наведено результати екологічного прогнозування та управління екологічною безпекою планової діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Проведений аналіз свідчить, що у теперішній час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування парадигми обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави можливо здійснювати шляхом впровадження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, застосування систем штучного інтелекту при здійсненні отримання, обробки, представлення візуалізації екологічної інформації. Запропонований підхід дозволяє визначити парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні інформаційних технологій обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж.

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

Предмет досліджень – технологія обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Методологія та методи дослідження. Для виконання досліджень використано методи дослідження операцій, обробки інформації, теорії управління організаційно-технічними системами, теорії розподілених систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж.

Результати досліджень. Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі систем штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу до обробки інформації, що базується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Цей підхід передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі [6, 11].

Реалізація таких принципів дозволяє підвищити ефективність функціонування ІСППР за безперервної зміни динаміки об'єкта екологічного спостереження та зовнішнього середовища. Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення рішень здійснюється на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення системи екологічного управління: несуперечливість, стійкість та самоузгодженість.

Отже, ІСППР- це складний багатопроцесорний обчислювальний комплекс, який можна розглядати як динамічний інформаційний простір, що самоорганізовується, має спроможність уніфікованого уявлення даних та знань щодо динаміки складного об'єкта.

При формальному описі обчислювального простору в ІСППР розробляються методи формування альтернативних алгоритмів, за допомогою яких реалізуються принципи обробки інформації мультипроцесорної середовищі. При цьому використовуються різні підходи до вирішення задач динаміки – на основі методів класичної математики (стандартні алгоритми), нечітких та нейромережових моделей [6, 8–12].

Зазначені методи утворюють безліч еквівалентних (функціонально близьких) алгоритмів. Підвищення ефективності алгоритмів з однаковим функціональним призначенням досягається шляхом їхньої адаптації до вихідних даних. Вибір кращої обчислювальної технології складає основі аналізу альтернатив.

Інформаційна модель знань в ІСППР.

Перехід від загальної формальної моделі знань до інформаційної моделі, покладеної в основу ство-

рення технології обробки інформації в ІСППР, можна розглядати на основі таких тверджень.

Твердження 1. Формалізація знань під час обробки інформації у складних динамічних середовищах, притаманних ІСППР при управлінні екологічною безпекою, складає основи предметної області, виділеної із загальної проблемної екологічної галузі.

Твердження 2. Структуризація знань в ІСППР здійснюється шляхом дослідження безлічі об'єктів (зовнішнє середовище, об'єкт екологічного управління, динаміка взаємодії) та виявлення структури причинно-наслідкових зв'язків між ними.

Твердження 3. Інформаційна модель знань реалізується на базі формалізованих моделей, що визначають виділені об'єкти та зв'язки між ними. Така модель дозволяє оцінювати відповідність динаміки поточної екологічної ситуації процесам, що є у реальній системі, за допомогою системи критеріїв.

Таким чином в ІСППР здійснюється обробку інформації в режимі реального часу в мультипроцесорному обчислювальному середовищі на основі інформаційної моделі (рис. 1).

Така модель синтезує процеси еволюції та самоорганізації в галузі екології та природних ресурсів. Модель структури процесів представляється у вигляді графа, у вершинах якого відображаються причинно-наслідкові зв'язки, що характеризують інтерпретацію поточних екологічних ситуацій на основі принципу конкуренції. Інформаційна модель сприймається як семантичне середовище з ієрархічно-мережевою структурою. Фізичний процес в інформаційній моделі є однією з характеристик ІСППР (об'єкт дослідження), а зміст (семантика) локалізується в окремому елементі.

Побудова та вивчення процесу моделювання в ІСППР здійснюється на основі «моделі моделей», що отримала назву репромоделі RM (від англ. Reproduce – відтворювати, породжувати). Репромодель – спрощений і наочний прототип створених в ІСППР моделей прийняття рішень. Така інтерпретація дозволяє ефективніше використання апріорної та оперативної інформації в системі S у процесі її функціонування.

Розглянемо особливості інформаційної моделі, поданої на рис. 1. Об'єктом інтелектуальної підтримки у складних ситуаціях є процес моделювання в системі «Оператор – ІСППР». Цей процес позначимо через S і представимо як результат послідовного переходу від об'єкта (системи S), що моделюється, спочатку до статичних моделей S(M), що використовуються в задачах аналізу і прогнозу при екологічному управлінні, а потім до динамічних моделей D(M), безпосередньо використовуваних при оперативному управлінні в рамках принципу конкуренції на базі методів класичної теорії управління, нечітких та нейромережових алгоритмів.

Аналіз альтернатив та прийняття рішень здійснюються на основі критеріальної системи, що включає

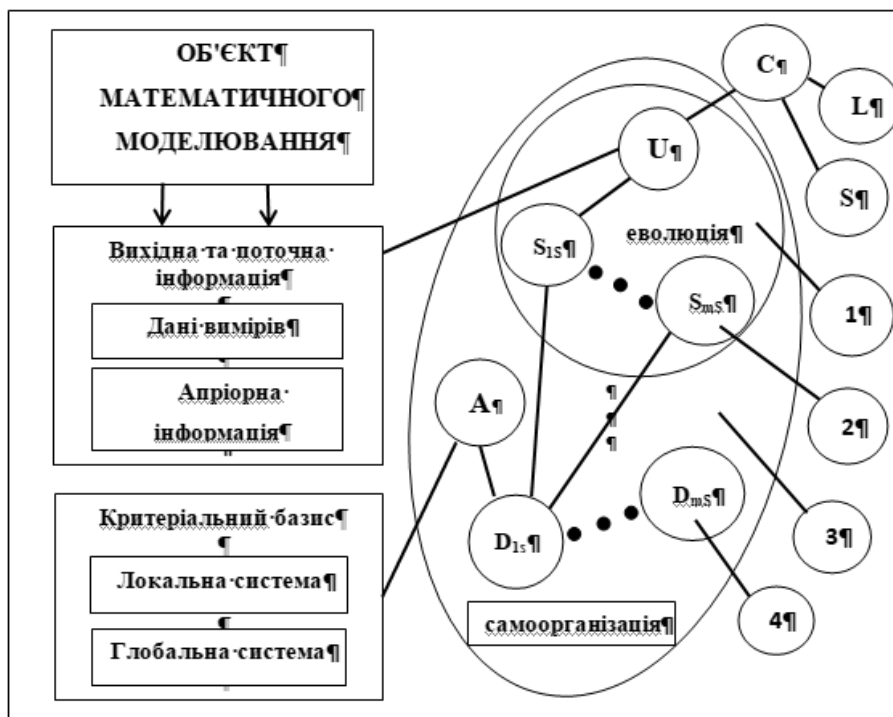


Рис. 1. Інформаційна модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень

Тут C – концептуальна модель; S – система (об’єкт) моделювання; $S_1(M), \dots, S_m(M)$ та $D_1(M), \dots, D_n(M)$ – статичні та динамічні моделі прогнозу та оперативного управління; U – керуюча компонента, що забезпечує перехід до статичних та динамічних моделей; L – мова моделювання, що характеризує типові математичні схеми та структури; A – алгоритм поведінки системи; $K(N)$ і $K(I)$ – критеріальні співвідношення, що визначають локальну та глобальну системи. Локальна система визначає вимоги, пов’язані з індивідуальними особливостями об’єкта спостереження (структура, функціональні властивості, можливість виникнення нештатних, аварійних екологічних ситуацій), а глобальна система включає вимоги національної та міжнародної систем, що регламентують екологічну безпеку району та об’єктів спостереження в умовах планової діяльності [1, 3–5].

національні $K(N)$ та міжнародні $K(I)$ вимоги до екологічної безпеки об’єкту спостереження. Перехід від моделі $S(M)$ до моделі $D(M)$ здійснюється через опис C (концептуальну модель системи), що фіксує відомості про модельований об’єкт спостереження, процес S у поняттях мови L у термінах типових математичних схем і структур, що використовуються в теорії та практиці предметної області. При виборі схеми імітаційного моделювання вводиться поняття середовища W , що дозволяє використовувати інформацію прикладного характеру J про цілі моделювання, закони функціонування системи, наявний математичний апарат для дослідження методів та алгоритмів екологічного управління.

Сфера статичних моделей прогнозу (еволюційне моделювання) представляє рух у просторі статичних моделей в процесі функціонування системи. Сфера динамічних моделей характеризує рух у просторі динамічних (активних) моделей, що дістала назву «моделювання із самоорганізацією». Компоненти моделі C базуються на евристичних уявленнях і можуть змінюватися в процесі накопичення інформації про динаміку взаємодії об’єкта спостереження із зовнішнім середовищем за різного рівня зовнішнього впливу в умовах планової діяльності.

Серед статичних моделей $S_1(M), \dots, S_m(M)$, інтегрованих у репромоделі, варто виділити ансамбль моделей, за допомогою яких здійснюється інтерпретація поточної ситуації.

Динамічні моделі $D_1(M), \dots, D_n(M)$ забезпечують прогноз та оперативне управління поведінкою системи у процесі її еволюції під впливом зовнішніх збурень.

Основну групу динамічних моделей утворюють модель функціоналу дії та модифіковані моделі Дуффінга та Мат’є, а також системи диференціальних рівнянь, що описують поведінку динамічного об’єкта спостереження в екстремальних ситуаціях [2, 7, 10, 11].

Розробка та аналіз математичних описів і структур даних, пов’язаних з еволюційним моделюванням та самоорганізацією динамічних моделей, є одним з важливих напрямів при створенні алгоритмів та програмного забезпечення, що підвищують надійність прийняття рішень у різних умовах експлуатації.

Концептуальні основи створення динамічної бази знань, що забезпечує контроль режимів функціонування ІСППР під час взаємодії об’єкта спостереження із зовнішнім середовищем, базуються на фундаментальних принципах, що визначають архітектуру системи та рівні її управління.

Сформульована таким чином система може застосовуватися на етапі обґрунтування принципів побудови та функціонування обчислювального комплексу та програмного інструментального засобу моделювання й аналізу складних ситуацій, що підтримує його.

Використовувана інформаційна модель описує комп'ютерну інтерпретацію (побудова моделей для формальних систем) предметної області, що з формалізацією завдання контролю режиму функціонування ІСППР і моделювання нестандартних (нештатних і екстремальних) ситуацій, що виникають на практиці експлуатації.

Принципи організації системи функціонування ІСППР.

Підвищення ефективності функціонування, достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації у ІСППР, що використовують інтелектуальні технології, досягається з використанням принципів обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі [2, 7, 8–12].

Організація роботи ІСППР з метою підвищення ефективності функціонування, підвищення достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації у обчислювальних комплексах, які використовують інтелектуальні технології, досягається на основі парадигми обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі (рис. 2).

Розширення функціональних можливостей системи забезпечується з урахуванням принципів відкритості, складності та конкуренції у межах

концепції м'яких обчислень. Нижче надається характеристика цих принципів, використання яких орієнтоване на нові покоління ІСППР з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в районі планової діяльності [4, 19].

Принцип відкритості та складності.

Практичні застосування методів штучного інтелекту при оцінці поведінки об'єкту спостереження розвиваються у напрямі аналізу та моделювання складних систем і пов'язані з поняттям відкритих систем, що включають велику кількість різних елементів. Причому значну роль завдання інтерпретації динаміки взаємодії стали грати як самі елементи системи (зовнішнє обурення, динаміка об'єкта), а й взаємодії з-поміж них.

Аналіз відкритої системи дозволяє відзначити такі особливості:

1. Можливість аналізу елементів системи моделювання та візуалізації поведінки ДО у взаємозв'язку з навколишнім середовищем.

2. Більш глибоке та якісне розуміння особливостей самої системи підтримки прийняття рішень, причинно-наслідкових зв'язків між її елементами, що описують реальну динаміку взаємодії.

Можливість аналізу особливостей функціонування системи у нестационарному динамічному середовищі.

3. Вивчення історії змін системи взаємодії ДО, невідривно пов'язаної із зовнішнім середовищем та накопиченою інформацією в процесі проектування та проведення модельного та натурального експерименту.

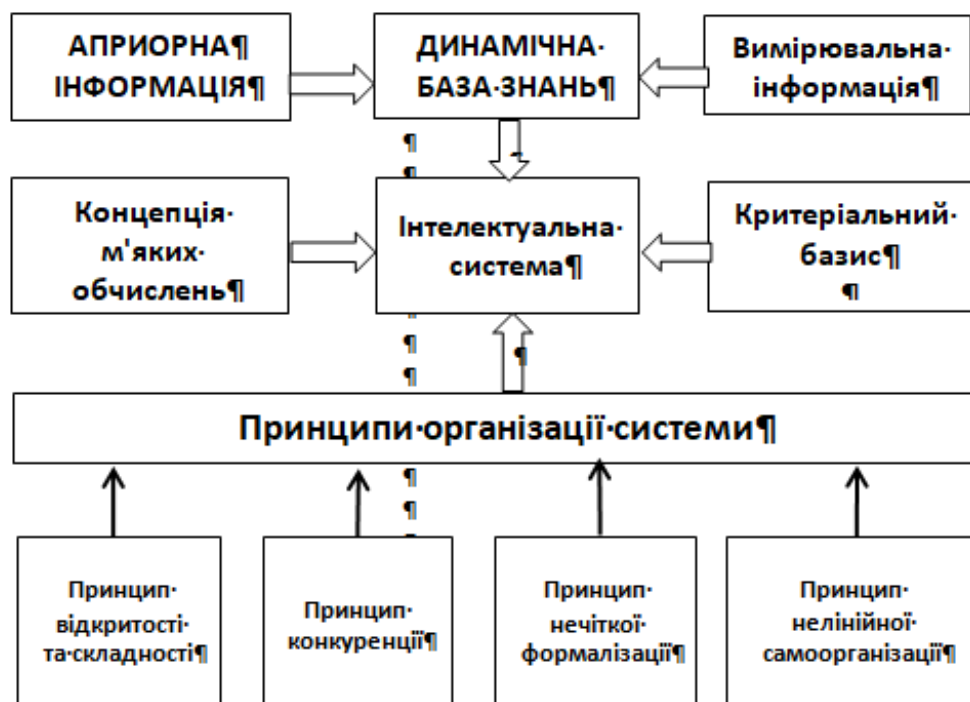


Рис. 2. Принципи організації системи підтримки прийняття рішень на основі технології інтелектуальних систем

Таким чином, відкритість ІСПП нового покоління представляє багаті можливості для її розуміння та використання при інтерпретації поведінки об'єкта спостереження. Однак моделювання таких систем в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації навіть за відсутності зовнішніх збурень є непростим завданням. В якості одного з напрямів вирішення таких задач, що важко формалізуються, можна використовувати еволюційне і когнітивне моделювання, для здійснення яких необхідно розробити строгую методологію у вигляді набору правил. При цьому практичний інтерес представляє моделювання еволюції потенційно складних об'єктів нової техніки, що мають водночас широкую сферу застосування та алгоритмічну універсальність.

Концепція «м'яких обчислень». Теоретична база створення інтелектуальних систем нових поколінь формується на основі ефективного поєднання накопиченої системи знань з новими підходами та парадигмами П. Серед них важлива роль належить методам та моделям, що забезпечують формалізацію та інтеграцію знань, механізм логічного висновку, пошук рішень та видачу практичних рекомендацій. Поряд із традиційними методами «інженерії знань» тут знаходить застосування концепція «м'яких обчислень» [8, 9] (рис. 3).

Ефективність взаємодії дослідника з ІСПП досягається за рахунок реалізації методів та засобів підвищення людино-комп'ютерної взаємодії при прийнятті рішень у складних, особливо у нестандартних (нештатних та екстремальних) ситуаціях – когні-

тивної парадигми, засобів мультимедіа та віртуальної реальності. Особливості застосування методів математичного моделювання в ІС нових поколінь полягають у тому, що в процесі побудови моделей динаміки об'єкта та зовнішнього середовища виникає помилка апроксимації, що наголошує на важливості використання надійної інформації при реалізації адаптивної компоненти динамічної бази знань у задачах удосконалення алгоритмічного та програмного забезпечення ІС, що здійснює інтелектуальну підтримку реалізації методів та моделей.

Принцип конкуренції. Підвищення достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації досягається з використанням парадигми обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, що ґрунтується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Парадигма передбачає використання двох теоретичних принципів (рис. 4) що дозволяють забезпечити раціональну організацію обчислювальної технології обробки даних вимірювань у задачі аналізу та прогнозу розвитку екстремальної ситуації, а також формалізувати потік інформації при реалізації нечіткого логічного висновку в мультипроцесорному обчислювальному середовищі [10, 11].

Принцип конкуренції при виборі обчислювальної технології забезпечує порівняльний аналіз результатів оцінки ситуації з використанням традиційних алгоритмів та нейромережових моделей.

Використовувані процедури паралельної обробки інформації під час реалізації цього принципу відбивають процес функціонування обчислювального

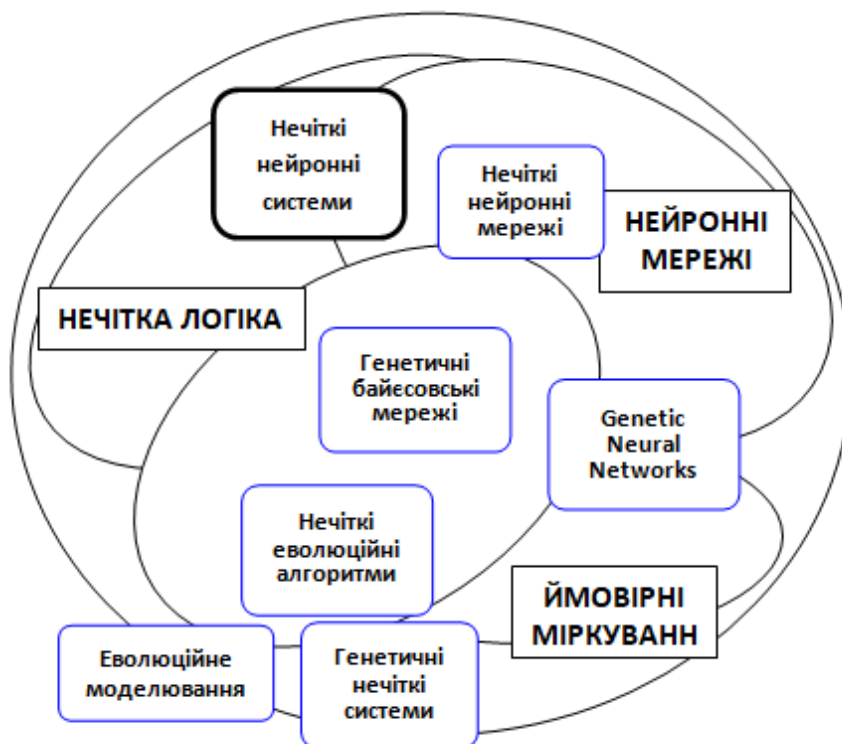


Рис. 3. Концепція «м'яких обчислень»

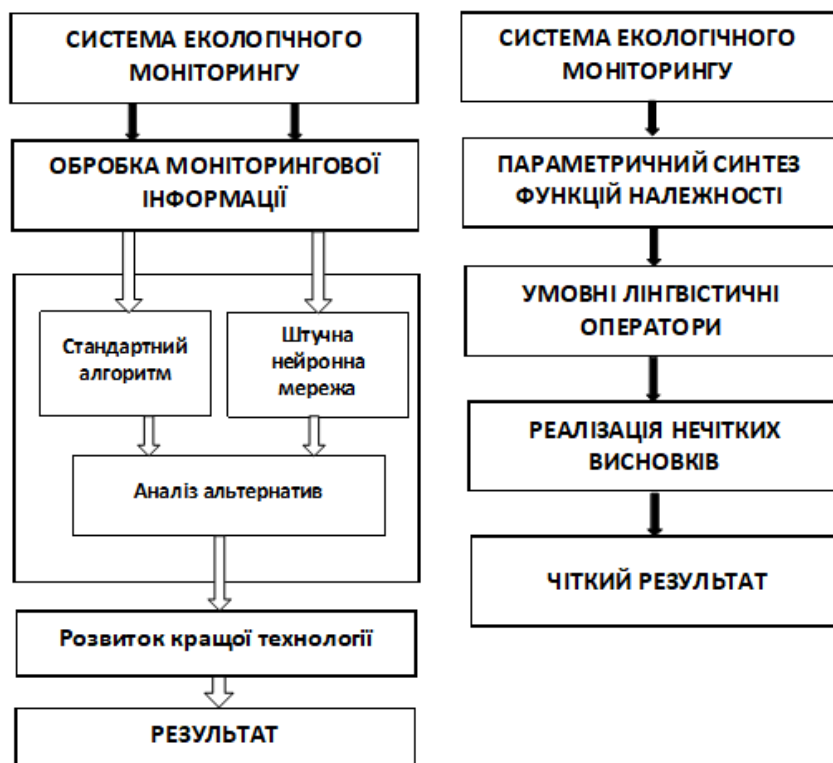


Рис. 4. Потік інформації при реалізації принципу конкуренції (А) та принципу формалізації нечіткої інформації (В)

комплексу ІС дослідницького проектування – від отримання інформації до процедури логічного висновку та вироблення практичних рекомендацій.

Принцип формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі дозволяє здійснювати паралельні ланцюжки нечіткого виведення в умовах динаміки об’єкта і зовнішнього середовища, що постійно змінюються. Використання цього принципу в ІС підтримки прийняття рішень дає такі переваги:

- відкриває перспективи програмної реалізації складних моделей подання та обробки нечіткої системи знань;
- забезпечує функціонування комплексу в режимі реального часу та скорочує витрати на розробку апаратного забезпечення механізму нечіткого виведення;
- усуває труднощі розв’язання завдань під час розпаралелювання обчислювального процесу з істотною нерегулярністю обчислень, характерною для завдань підтримки прийняття рішень, що реалізуються на базі інтегрованих комплексів.

При реалізації сформульованих вище принципів обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі необхідно керуватися такими твердженнями:

Твердження 1. Аналіз альтернатив та прийняття рішень у задачах контролю поведінки досліджуваного об’єкта спостереження у складних ситуаціях здійснюється з використанням критеріїв, що визначають пріоритетність рішення $F(u)[0,1]$.

Твердження 2. Реалізація конкуруючих обчислювальних технологій при інтерпретації методів моделювання пов’язана з прийняттям рішення в умовах апріорної невизначеності. Нечітка критеріальна база вибору рішення визначається особливостями взаємодії об’єкта спостереження із зовнішнім середовищем у досліджуваній ситуації.

Твердження 3. Оцінка корисності рішення за наявності інформації «завдання – рішення – критерій» визначається шляхом формування нечіткої моделі знань та композиційного правила, які визначають відмінність отриманої якості рішення від бажаного з урахуванням системи переваг, що визначають пріоритетність рішення.

Реалізація тверджень 1-3 дає можливість підвищити ефективність прийнятих рішень при функціонуванні ІВ в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації, особливо при безперервній зміні динаміки об’єкта та зовнішнього середовища. Практична значущість обробки інформаційних потоків у реальному часі обумовлена прагненням підвищити швидкість машинних обчислень шляхом розпаралелювання алгоритмів та реалізації їх на високопродуктивних обчислювальних платформах [5].

Перевірка коректності алгоритмів ухвалення рішень здійснюється формальним шляхом на основі вимог до алгоритмічного забезпечення системи. Щодо паралельних алгоритмів логічного управління поняття коректності пов’язане зі специфічними

властивостями таких алгоритмів: несуперечливістю, стійкістю та самоузгодженістю [3, 4].

Принцип складності. Протиріччя між ускладненням розроблених моделей взаємодії судна із зовнішнім середовищем та необхідністю застосування традиційних математичних методів визначає одне з найважливіших завдань інтерпретації динамічних ситуацій – розробку методології математичного моделювання з урахуванням вимог не лише до адекватності, а й до складності самої моделі. Розв’язання даної задачі передбачає розробку методів та алгоритмів, що забезпечують в умовах неточності та невизначеності інформаційного забезпечення спрямований пошук оптимальних моделей.

Причому критеріальний простір передбачає як близькість виходу моделі прийнятому еталону, так і її складність, оскільки вона пов’язана з повнотою обліку в моделі наявних апріорних даних.

Принцип складності орієнтований задоволення все зростаючих потреб у методах синтезу рішень, а й математичного моделювання поведінки ДО, особливо у складному динамічному середовищі. На основі принципу складності створена загальна теорія складності систем [20], яка вимагає конкретизації її положень стосовно завдань моделювання поведінки ДО. Розширення спектра розв’язуваних завдань призводить до використання нових підходів та узагальнень, оскільки складність моделі є показником, що характеризує реалізацію обчислювальної технології, що забезпечує досягнення мети при заданому рівні якості моделювання, що характеризує ступінь (повноту) виконання моделлю основної мети моделювання та інтерпретації отриманих даних.

Складність одна із головних чинників, формують образ моделі взаємодії ДО із довкіллям. Принцип складності може бути використаний і при моделюванні поведінки об’єкта спостереження за даними моніторингових досліджень у термінах «вхід-вихід» та у категоріях простору станів, а також за різними видами інформаційного та алгоритмічного забезпечення. Застосування принципу складності за умов невизначеності і неповноти вихідної інформації вимагає визначення шуканої моделі разом із оцінкою її складності: «реалізація моделі – складність моделі» як єдиного цілого. Такий підхід відповідає концепції Л. Заде [12] про перехід до обліку при математичному моделюванні нечітких факторів у рамках теорії нечітких множин.

Принцип нелінійної самоорганізації.

Функціонування системи підтримки прийняття рішень пов’язане з контролем ситуації та прогнозуванням її розвитку в умовах безперервної зміни динаміки об’єкта та зовнішнього середовища. Забезпечення контролю складає основи адаптивних алгоритмів, здатних змінювати свою структуру при зміні поведінки об’єкту спостереження. При синтезі таких алгоритмів використовують різні підходи – детерміністський, стохастичний та підхід на основі

принципів самоорганізації. Перші два підходи припускають наявність вихідних даних повного інформаційного базису, тобто, всіх визначальних параметрів та факторів, які необхідно враховувати при аналізі ситуації.

Принцип нелінійної самоорганізації потребує мінімального обсягу апріорної інформації. Методологічною основою цього принципу є припущення про те, що вся інформація про структуру та поведінку динамічної системи міститься в даних вимірів та критеріальних співвідношеннях, що визначають вибір структури моделі.

Для прогнозування екологічного стану в районі планової діяльності в умовах безперервної зміни довкілля необхідно сформулювати математичну модель, що містить всю необхідну інформацію про параметри та зміну стану об’єкта протягом заданого інтервалу часу. Саме тому принцип нелінійної самоорганізації найбільш ефективний у завданнях контролю та прогнозування екстремальних екологічних ситуацій, пов’язаних із раптовими (стрибокподібними) змінами у поведінці об’єкта. З даних прогнозу ІСППР виробляє практичні рекомендації в такий спосіб, щоб уникнути цієї небезпеки. Реалізація принципу нелінійної самоорганізації розробки бази знань ІСППР вимагає великого обсягу обчислювальних операцій, що з попередньої оцінкою динаміки об’єкта з урахуванням математичного моделювання екстремальних ситуацій з наступним формулюванням відповідних критеріальних оцінок.

Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення рішень здійснюється формальним шляхом на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення системи. Щодо паралельних алгоритмів логічного управління поняття коректності пов’язане зі специфічними властивостями таких алгоритмів: несуперечливістю, стійкістю та самоузгодженістю [9–11].

Таким чином, системи підтримки прийняття рішень як інструментарій багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації вимагають створення загальносистемних принципів та підходів. При створенні систем слід керуватися наступними базовими інваріантними по відношенню до предметної галузі технологіями і концепціями: парадигма обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі; принципи відкритості, нелінійної самоорганізації, концепції конкуренції та м’яких обчислень.

Висновки. У праці запропоновано парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі систем штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу

до обробки інформації, що базується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Він передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі.

Для створення технології обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень запропоновано інформаційну модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень.

Парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень ґрунтується на розглянутих принципах, використання яких орієнтоване на нові покоління мультипроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в межах планової діяльності: принцип відкритості та складності,

принцип конкуренції, принцип формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, принцип складності, принцип нелінійної самоорганізації.

В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень слід зазначити, що отримані результати можуть бути використані для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів з використанням аерокосмічних технологій отримання інформації про стан навколишнього природного середовища техногенне небезпечних об'єктів. Крім того, вони можуть бути основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктів критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.

Література

1. Бондар О.І., Машков О.А., Міхєєв 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.
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 / Т. Г. Іващенко. К.: Основа. 2021. – 60с.
4. 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.
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, № 3-4 (27-28) 2020, с. 7-34.
6. Офіційний сайт організації-розробника FuzzyGLIPS Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>. – Загл. с екрана.
7. Шевченко О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ИПШ, Наука і освіта, 2003, 228 с.
8. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management // ELSEVIER. 2015. № 65 – С 278-284.
9. Gottinger. H. W., Weinmann. P. Intelligent decision support systems // Decision Support Systems. 1992. – Vol. 8, No.4. – P. 317-332.
10. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS) // Singaporean journal of business economics and management studies. 2013. № 6 – С 94-102.
11. 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.
12. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. № 3, pp.77 – 8