
ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.08:681.78:629.52.7

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.1>

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У 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

Розглянута концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки. Вона передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій у системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем.

Обґрунтована архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та означено потік інформації, що реалізує концепцію підтримки прийняття рішень. Зазначено, що така система інтелектуальної підтримки має характерні особливості, зокрема: складність розподіленої структури (структурна складність); багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність); потреба обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність); необхідність врахування особливостей розробки (проектна складність). Використання GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування ІСППР дозволяє вирішувати питання об'єднання різнотипних ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноманітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати ресурси для загального й розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу. В рамках рекомендацій та перспективи подальшого поглиблення розгляду запропонованої теми варто зазначити, що отримані результати сприятимуть поліпшенню забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів. Окрім того, за допомогою систем штучного інтелекту вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень у напрямку підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури. *Ключові слова:* екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системи підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

The concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety.
Bondar O., Mashkov O., Prysiashnyi V., Ovodenko T., Pechenyi V.

The paper proposes the concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety. The process of developing the concept of creating an intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety involves the formalization of the following processes: determination of the features of automation of expert processing and the decision-making process in environmental management systems; formation of the architecture of the intellectual support system for making managerial environmental decisions and determining the flows of relevant information in the system; application of intelligent technology of GRID systems in ISPPR. The architecture of the intellectual support system for managerial environmental decision-making is substantiated and the information flows implementing the concept of the decision-making support system are determined. It was determined that the intellectual support system has the following distinctive properties: complexity of the distributed structure (structural complexity); multipurpose nature of information transformation (functional complexity); the need to account for and formalize uncertainty (information complexity); necessity consideration of development features (project complexity). The use of GRID technology to create a single information space for the operation of the ISPPR allows solving the task of combining heterogeneous resources (computing tools, software, databases, knowledge) and providing uniform access (organization of the user interface) and delegating resources for common and distributed use and management system of access of external users to the distributed resource. 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 to ensure the ecological safety of the environment and natural resources. 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. Здійснений аналіз засвідчує, що основна причина неухильно зростаючого рівня забруднення навколишнього середовища полягає в існуючому протиріччі між постійним зростанням виробництва у всіх галузях господарства, техногенними аваріями й катастрофами та повільним впровадженням новітніх прогресивних технологій [1, 3]. Порівняно нові наукові напрямки досліджень – екологічна безпека, технологія захисту навколишнього середовища – вивчають взаємодію суспільства з природним середовищем у процесі сталого розвитку. Фахівці галузі вважають, що правильно організована планова діяльність підприємств та організацій, у тому числі успішно задіяні системи захисту навколишнього середовища або природоохоронні заходи, дозволить розв'язати проблему гармонійної взаємодії людини (суспільства) та природи [5].

У цьому напрямку є досить ефективним використання інтелектуальної технології експертної оцінки та підтримки прийняття рішень з метою її застосування під час розроблення систем прогнозування критичних ситуацій, зменшення витрат, пов'язаних з ліквідацією їх наслідків. Проведений аналіз існуючих у суспільстві умов, потребує розв'язання нових складних проблем управління технічними системами за дефіциту часу, відповідних фахівців, а також підвищення відповідальності керівників за прийняття ефективних рішень, свідчить про необхідність створення відповідних нових методів та МІ*інтелектуальних засобів. З метою створення засобів допомоги керівникам різних рівнів на шляху розв'язання сучасних проблем екологічного управління необхідно розглянути такі питання:

- системний аналіз та концептуальне моделювання ситуацій та проблемних областей у галузі екології та природних ресурсів;
- вирішення неформалізованих завдань у слабоформалізованих проблемних галузях екологічного управління;
- різнобічне опрацювання, аналіз та класифікація великих обсягів екологічної інформації;
- облік об'єктивних текстологічних знань та суб'єктивних особливостей особи, яка приймає рішення (ОПР).

Керівники, які приймають рішення в галузі екологічної безпеки планової діяльності та навколишнього середовища, стикаються зі складним вибором: необхідністю обліку безлічі різних факторів, з розглядом значної кількості альтернативних варіантів, для оцінки яких необхідні знання багатьох профільних фахівців. Тут, природно, виникає питання застосування для вирішення таких проблем експертних систем, оскільки, якщо проблема може бути повністю структурована і є змога отримати алгоритм її вирішення, підтримка рішення не потрібна. Але проблемна сфера, пов'язана з екологією, є слабко структурованою, власне, як і більшість галузей

природничих наук. Тому проблема вибору природоохоронних заходів має деяку невизначеність щодо складу елементів, необхідних для успішного вирішення, та зв'язків між ними. Саме для вирішення таких проблем, що володіють деякою структурою, але потребують суджень та переваг людини, створення ефективних систем підтримки прийняття рішень (СППР) [2, 4, 7].

СППР є потужним засобом розв'язання таких проблем, проте відповідні системи лише допомагають користувачеві прийняти рішення, але не можуть замінити творчо мислячого керівника. Звичайно, використання СППР дозволить всебічно проаналізувати запропоновані варіанти та знайти найліпше або допустиме рішення, враховуючи переваги та можливість особи, яка приймає рішення. Але питання застосування СППР на шляху попереднього аналізу та структуризації екологічних проблем, як одного з принципово важливих етапів підготовки та прийняття рішень, найменш розроблені. У напрямку підвищення якості та скорочення часу ухвалення рішень при екологічному управлінні об'єктами, комплексами та системами критичної інфраструктури, природного заповідного фонду виник новий науковий напрямок – інтелектуальні СППР.

Важливість ефективних структуризації та аналізу проблемної сфери зазначається в працях зі створення нових інтелектуальних систем [4, 6, 8–12]. Проведений аналіз засвідчує, що використання на початкових етапах розроблення таких систем принципів системного аналізу, зокрема цільового принципу, дозволяє значно скоротити час виконання таких завдань. Відповідно до [3], сутність цільового принципу полягає в тому, що аналіз будь-якого процесу прийняття рішення має починатися з визначення та чіткого формулювання цілей, розуміння бажаного результату діяльності, стану екологічного управління. Під час розроблення системи управління екологічною безпекою мета визначається одним із найпоширеніших способів: на основі розгляду системи вищого рівня. Об'єктом дослідження в галузі технології захисту навколишнього середовища є системи, що утворилися в результаті взаємодії конкретної планової діяльності підприємств та організацій з навколишнім середовищем. Саме вона і є системою вищого рівня щодо ставлення до об'єкта екологічного управління, а відповідно і до завдань екологічної безпеки генеральною метою під час екологічного управління такими системами є досягнення гармонійної взаємодії об'єкта планової діяльності та навколишнього природного середовища. Керуючись генеральною метою системи вищого рівня можна виділити мету системи, що розробляється, зокрема, це зменшення негативного впливу об'єкта 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 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. Створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки як складової 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 [1, 4, 5, 8].

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

Питання використання інтелектуальних технологій для реалізації інформаційної підтримки прийняття рішень розглянуті в працях [2, 7, 12]. Генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, розглянуті в працях [8, 12]. У дослідженнях [4, 5] обґрунтовані побудови експертної системи підтримки прийняття рішень у 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 у теперішній час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування створення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави, можна здійснювати шляхом впровадження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, глобальних інформаційних мереж, застосування систем штучного інтелекту під час отримання, оброблення, представлення візуалізації екологічної інформації.

Запропонований підхід дозволяє визначити нові підходи до побудови концептуальної схеми інформаційних потоків, що дає змогу створювати системи

розподіленого штучного інтелекту в інтелектуальних системах підтримки прийняття управлінських екологічних рішень за допомогою технології GRID, що є одним із перспективних напрямків розвитку програмного забезпечення багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації.

Мета дослідження полягає у полягає у науковому обґрунтуванні концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки 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 інтелектуальне ядро системи підтримки прийняття управлінських екологічних рішень

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

Результати досліджень. Процес розроблення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій в системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем.

Особливості автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління

Автоматизація експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління здійснюється на основі системологічного аналізу проблемної сфери, зокрема, визначення специфіки забезпечення екологічної безпеки: оцінка впливу на навколишнє середовище; національний план дій з охорони навколишнього середовища; Стратегія державної екологічної політики України тощо [1, 3, 5].

Досвід створення прототипу інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття управлінських екологічних рішень дозволяє стверджувати, що вагомим ступенем спрощення опису об'єкта планової діяльності можна досягти завдяки застосуванню принципу ієрархічності [3, 4]. Він передбачає існування ієрархічної структури складного об'єкта, що відображається за допомогою декомпозиції цього об'єкта. Декомпозиція об'єкта планової діяльності на структурні елементи (або

функціональні процеси), а в подальшому і на функціональні елементи та агрегати, які, власне, й утворюють на своєму виході забруднення навколишнього середовища та промислові відходи, є найбільш плідною. Подібна декомпозиція складного об'єкта дозволяє сформуванню такої «дерево» цілей:

- зменшення негативного впливу всього комплексу викидів забруднюючих речовин та антропогенної діяльності на стан природного середовища;

- зменшення впливу комплексу викидів забруднюючих речовин окремого цеху;

- зменшення впливу комплексу викидів окремого взятого агрегату;

- зменшення шкідливого впливу окремого викиду конкретного агрегату на стан навколишнього середовища.

Сформоване «дерево» цілей дозволяє застосувати системний підхід до побудови інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР). При цьому застосовано підхід, який є найбільш прийнятним, – прототипування систем. Декомпозиція цілей за такого підходу відіграє свою позитивну роль. Прототип ІСППР створюється для нижнього рівня «дерева» цілей. Шляхи нарощування можливостей системи в процесі прототипування за такого підходу – це рух вгору по ієрархії «дерева» цілей. Створений прототип ІСППР у сфері екологічної безпеки об'єкта планової діяльності підтримує виконання таких функцій:

- придбання та надання експертної інформації щодо поточного стану навколишнього середовища, склад та характеристики викидів, структурні особливості об'єктів планової діяльності, основні характеристики очисних споруд;

- аналіз взаємозв'язку об'єктів планової діяльності з навколишнім середовищем та надання експертних висновків щодо необхідності застосування технологій захисту навколишнього середовища;

- підбір залежно від специфіки функціональних процесів та інших чинників відповідних природоохоронних заходів;

- багатокритеріальна оцінка якості варіантів розв'язання;

- надання аналітичної допомоги особі, яка приймає рішення (ОПР) у процесі вибору найбільш оптимального з його погляду природоохоронного заходу.

При розробці ІСППР у напрямку їх зближення з експертними системами існує гостра необхідність перенести деякі з концепцій експертних систем у сферу ІСППР. Одна з таких концепцій – реалізація можливості набуття системою знань, що ставить систему на щабель вище за ті ІСППР, у яких передбачено формування опису проблеми засобами самої системи. Ефективна експлуатація такої ІСППР у значній мірі залежить від потужності розробленої бази знань, в основу якої має бути покладена концептуальна модель проблемної галузі. Коли завдання

спочатку не структурована, як у випадку зі сферою екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів, її структура має бути розглянута в такому вигляді, щоб вона була зрозуміла ОПР у взаємозв'язку її основних елементів.

Особливі труднощі тут виникають, перш за все, тому, що аналіз екологічних проблем є творчим процесом, що неповною мірою піддається формалізації. Тому особливо необхідно у практиці розробки баз знань для ІСППР використання нових, системологічних когнітивних методів концептуального моделювання неформалізованих проблемних областей; методів, що вже знайшли своє ефективне застосування у розробках експертних систем.

У процесі роботи над системою було проведено концептуальний аналіз проблемної галузі та визначено основні компоненти, необхідні під час визначення природоохоронних заходів. Отже, база знань ІСППР містить таку інформацію:

- опис ієрархії об'єкта екологічного спостереження як структури типу: система – екологічний процес (об'єкт) – структурний елемент (промисловий агрегат, пристрій);

- опис поточного стану навколишнього середовища, що включає інформацію про основні сфери; гідросфера (водні об'єкти, до яких підприємство скидає стічні води); атмосфера (повітряний басейн над територією підприємства); літосфера (земельні площі, що служать місцем зберігання твердих відходів);

- опис складу викидів забруднюючих агрегатів, що включає список шкідливих речовин з такими характеристиками: порівняльний ступінь небезпеки забруднювача, масштаб його поширення, можливість його перенесення і стійкість, гранично допустима концентрація та інтенсивність його викиду;

- опис очисних пристроїв та природоохоронних заходів з урахуванням їх характеристик: тип роботи пристрою, продуктивність, сфера застосування (перелік забруднювачів, що очищаються, та ступінь їх очищення), економічні та технологічні характеристики пристрою.

Під час аналізу проблемної області було виявлено, що немає будь-якої надійної кількісної моделі (іншими словами, об'єктивної моделі), що пов'язує ті критерії, які необхідно враховувати в процесі вибору. Було визначено, що найбільш успішно може використовуватися суб'єктивна модель прийняття рішень, що допоможе встановити такі зв'язки, керуючись деякою суб'єктивною інформацією, а саме: переваг самого користувача. Для реалізації таких можливостей було обрано діалоговий метод замкнених процедур побудови квазіпорядку (опорних ситуацій – запит) на множині багатокритеріальних альтернатив [2].

Такий підхід передбачає наявність сукупності різномірних чинників, які слід брати до уваги з метою оцінки характеру аналізованих альтернатив. У цьому випадку користувач не має цілісного уяв-

лення про варіант рішення. ІСППР спроможна допомогти ОПР визначити склад параметрів (критеріїв), що характеризують його ставлення до цієї проблеми. З цією метою в системі за допомогою реалізації бази моделей передбачено оцінку якості альтернатив природоохоронних заходів за економічними, експлуатаційно-технологічними та екологічними критеріями. База моделей повинна містити набір різноманітних моделей, які можуть проводити аналіз та структурування задачі прийняття рішення. При розробці ІСППР в систему було закладено можливість моделювати ситуації викиду забруднюючих речовин у навколишнє середовище, радіаційного забруднення земельних ресурсів певної концентрації та визначати необхідність застосування технологій захисту навколишнього середовища, виходячи із встановлених гранично допустимих концентрацій на даний вид забруднювача. З цією метою в систему закладено модель поширення забруднюючих шкідливих речовин довкілля та природних ресурсів. Так, наприклад модель водних ресурсів дозволяє врахувати фонову концентрацію шкідливих речовин у водотоку, спосіб спуску стічних вод, швидкість течії річки та інші характеристики водного об'єкта.

Виходячи з необхідності багатокритеріальної оцінки якості технології захисту навколишнього середовища в базу моделей ІСППР повинні бути закладені такі об'єктивні та суб'єктивні моделі:

Об'єктивна модель оцінки екологічної ефективності природоохоронного заходу (або модель оцінки залишкової шкоди навколишньому середовищу). В основу цієї моделі може бути покладено систему оцінки стану навколишнього середовища Бателле [12], засновану на проведенні комплексного аналізу різних середовищ;

модель оцінки експлуатаційно-технологічної ефективності технології захисту навколишнього середовища. Вона є суб'єктивною моделлю і дозволяє враховувати переваги користувача за такими характеристиками: потреба підчас організації захисту навколишнього середовища в обслуговуючому персоналі, вільних площах, технологічність застосування обладнання навколишнього середовища та ін; різного виду економічні моделі, що дозволяють враховувати прямі та опосередковані витрати на реалізацію технологій захисту навколишнього середовища та забезпечення екологічної безпеки.

Отримані в процесі створення ІСППР практичні та теоретичні результати є лише невеликим кроком на шляху усунення тієї реальної загрози глобальної екологічної кризи, перед якою опинилося наше суспільство на етапі сталого розвитку. Необхідно зазначити, що автоматизація експертної обробки та процесу прийняття рішень з питань усунення критичних екологічних ситуацій за допомогою застосування ІСППР, заснованих на сучасних інтелектуальних технологіях, може стати одним із напрямків у вирішенні екологічних проблем суспільства.

Архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень.

Проведений аналіз засвідчує, що характерною рисою слабо структурованих завдань, тобто саме таких завдань, що найбільше вимагають залучення СППР, є багатокритеріальність [1, 5], яка полягає в тому, що якості прийнятих рішень не можна оцінити за допомогою єдиного скалярного показника і доводиться вдаватися до векторного критерію. Для вирішення труднощів ранжування і оптимізації альтернатив, що виникають при цьому, доводиться використовувати неформальні методи скаляризації, що спираються на судження ОПР.

У структурі ІСППР функціональними компонентами $F(S)$ є модулі прикладних систем, що виконуються в сукупності зі службовими модулями, які забезпечують спільну роботу об'єднаних систем

$$I(S) = \langle F(S), D(W), U(PC) \rangle, \quad (1)$$

де $F(S)$ – функціональні компоненти; $D(W)$ – узагальнена база даних; $U(C)$ – керуючий програмний комплекс.

У процесі спільної роботи модулі, що об'єднуються M_i ($i=1, \dots, m$) взаємодіють з узагальненою базою даних $D(W)$ за допомогою службових модулів, функції яких складаються у виборі з бази даних необхідних для своєї роботи даних і в розміщенні в ній результатів виконаного аналізу. Керуючий програмний комплекс $U(PC)$ забезпечує функціонування інтегрованої системи $I(S)$ за допомогою програмних засобів.

Узагальнена база даних $D(W)$ формується відповідно до загальних принципів побудови сховищ даних та знань. Для представлення структури управління програмними системами використовуються різні формалізми, зокрема, й мережі Петрі [2]. Формальний апарат таких мереж призначений для моделювання впорядкування подій та потоку інформації.

Функціональний аналіз прикладних систем, що ґрунтуються на знаннях, зазвичай здійснюється в рамках міжнародного стандарту IDEFO. Така методологія дозволяє уявити формальну модель інтегрованої системи інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації в нотатції стандарту IDEFO у вигляді наступної узагальненої структури (рис. 1).

Синтез моделей обробки інформації в ІСППР в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта і зовнішнього середовища дозволяє вирішити проблеми створення баз знань, що еволюційно самоорганізуються, а також систем адаптивного синтезу інформаційно-обчислювальних конфігурацій.

Спільно ці проблеми визначають загальну проблему розробки теоретичних основ побудови інтегрованих програмно-апаратних комплексів.

Програмний комплекс інтелектуальної підтримки прийняття рішень у задачах моделювання та візуалізації в ІСППР представлений на рис. 2. Комплекс сут-

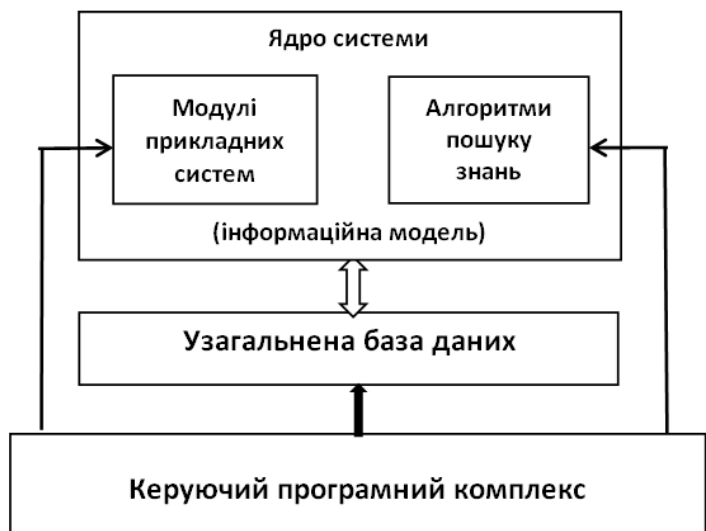


Рис. 1. Архітектура системи інтелектуальної підтримки

тево розширює функціональні можливості загальної структури, представленої на рис. 1, та є системою розподіленого штучного інтелекту.

ІСППР поєднує суворі формальні методи аналізу та інтерпретації інформації при вирішенні завдань динаміки складного об'єкта з евристичними методами та 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.

Аналіз завдань, розв'язуваних у межах ІСППР, дозволяє окреслити низку 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;

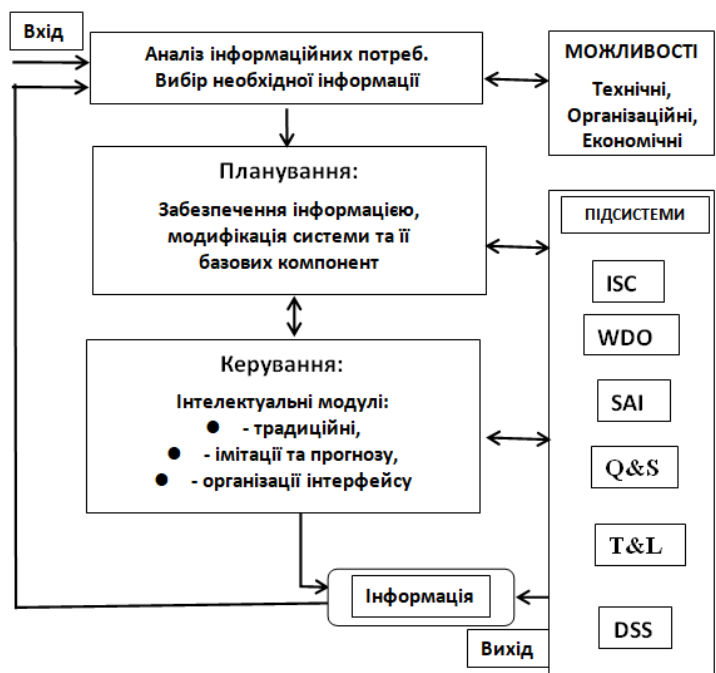


Рис. 2. Потік інформації, що реалізує концепцію системи підтримки рішень в ІСППР: ISC – інтегрована підсистема управління обчисленнями; WDO – підсистема організації даних; SAI – пошук та забезпечення доступу до інформації; Q&S – контроль якості рішень; T&L – тестування та навчання; DSS – прийняття рішень

– потреба реалізації операцій між великою кількістю різномірних об’єктів, включаючи операції збурення динамічних об’єктів, з урахуванням складної структури відносин між класами об’єктів.

При цих завдань адаптивний синтез і розпаралелювання комп’ютерних програм здійснюється шляхом систематичного виконання трансформацій програм, представлених схемними правилами. Однак багато розпаралелюючих перетворення зручніше задати в процедурному вигляді.

Подані у вигляді правил трансформації знання (схемні правила) про методи розпаралелювання програм можна накопичувати та використовувати за допомогою підсистеми організації даних в ІСППР.

Вихідні дані щодо поточної ситуації під час функціонування ІСППР отримують шляхом обробки апіорної інформації (рис. 3).

Обробка цієї інформації реалізується в режимі реального часу та дозволяє «налаштувати» ІСППР на вирішення завдань інтерпретації поточної ситуації.

Алгоритми аналізу та прогнозу ситуації дозволяють відновлювати поточні характеристики зовнішніх збурень та параметри об’єкта спостереження, 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 об’єкта спостереження.

Концептуальна модель перетворення інформації при функціонуванні ІСППР у складних динамічних середовищах має вигляд:

$$S = (F: T \times X \times Q \rightarrow Y), \quad (2)$$

де S – множина стратегій управління; X – множина елементів оперативної бази даних; T – множина аналізованих моментів часу; Q – множина всіх можливих значень вектору вхідних впливів; $A = T \times X \times Q$ – множина закономірностей у даних; Y – множина правил узагальнення інформації; F – множина елементів, які реалізують принцип конкуренції.

Система інтелектуальної підтримки має такі відмінні властивості:

- складна розподілена структура (структурна складність);
- багатоцільовий характер перетворення інформації (функціональна складність);
- необхідність обліку та формалізації невизначеності (інформаційна складність);
- врахування особливостей розробки (проектна складність).

Інформаційний простір, що надається ІСППР (рис. 4), забезпечує можливість взаємодії фахівців різних предметних областей під час вирішення завдань аналізу та інтерпретації інформації на всіх стадіях виконання розрахунків та моделювання при розробці складних систем та технологій.

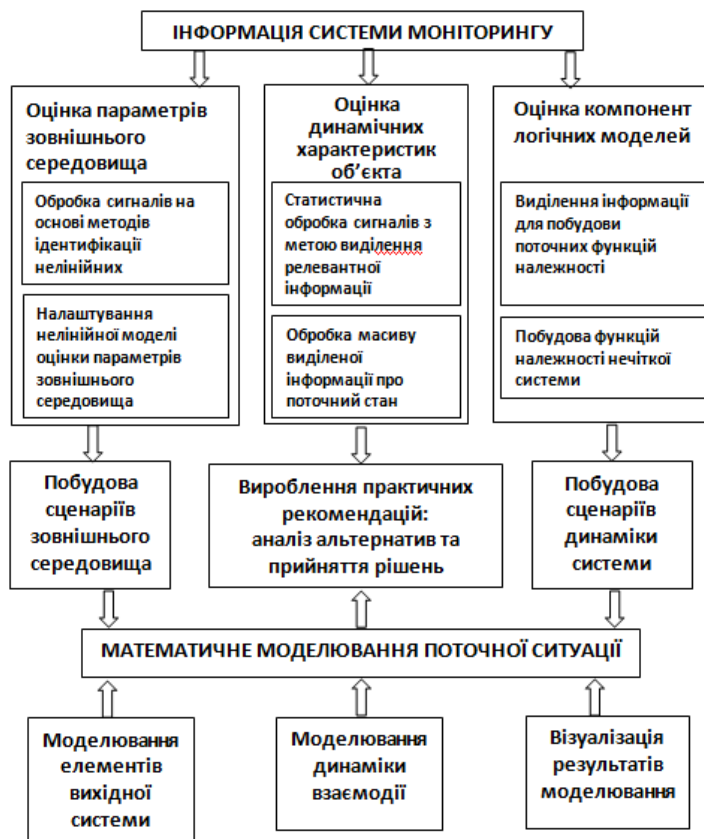


Рис. 3. Потік інформації у завданнях моделювання та візуалізації



Рис. 4. Інформаційний простір системи інтелектуальної підтримки

Загальна інформаційна модель інтелектуальної підтримки моделювання та візуалізації представляється як безліч інформаційних моделей, що складаються з окремих наперед визначених інформаційних об'єктів. Адаптивна компонента (модуль адаптації), що забезпечує функціонування системи на базі інформаційної моделі, передає знайдене системою рішення розробнику для подальшого аналізу та інтерпретації. Прогнозування інформаційних потреб та інтелектуальної підтримки полягає у визначенні класу розв'язуваної задачі (ситуації), формуванні та перетворенні інформації з урахуванням особливостей розробника та рівня його професійної майстерності.

Під час пошуку моделі інтелектуальної підтримки проводиться попередня оцінка ефективності та безпеки її використання.

Концепція ІСППР сформульована як узагальнення та розвитку традиційних моделей обробки інформації з урахуванням високопродуктивних

засобів обчислень [2, 8–12]. Концептуальна модель передбачає використання ІСППР як для вирішення складних завдань під час моделювання динаміки складних об'єктів, так й для розширення функціональних можливостей обчислювального комплексу в межах сховища даних (рис. 5) за допомогою доступу до мереж Internet та Intranet.

При розробці концептуальної моделі сформульовано принципи побудови та особливості застосування ІСППР під час вирішення завдань моделювання та інтерпретації екологічної інформації. Серед цих принципів слід виділити адаптивність, багатопроцесорність та максимальну швидкість, відкритість, безперервність функціонування та живучість.

ІСППР має можливість еволюційного нарощування в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта та зовнішнього середовища, приклад наведений на рис. 5.

Одним із перспективних напрямів удосконалення ІСППР підтримки прийняття рішень є інтеграція

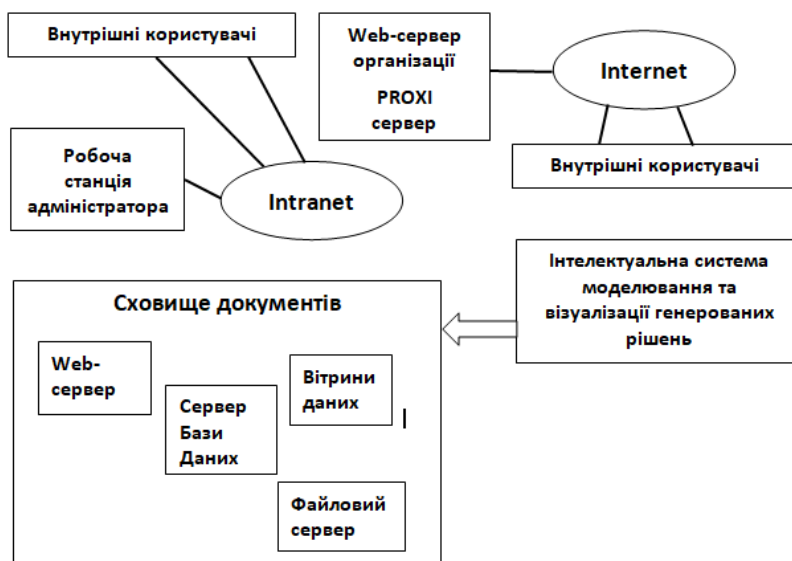


Рис. 5. Інтеграція ІСППР зі сховищем даних підприємства

цієї обчислювальної технології з інтелектуальною технологією GRID-систем. Системний аналіз та синтез моделей обробки інформації в інтелектуальних GRID-системах визначає методи вирішення складних науково-технічних проблем, особливо у додатках, пов'язаних із безперервним функціонуванням досліджуваних об'єктів.

Створення інтегрованих еволюційно-самоорганізованих баз даних і знань, а також систем адаптивного синтезу інформаційно-обчислювальних конфігурацій визначає загальну проблему розробки теоретичних основ побудови програмно-апаратних комплексів, що самоорганізуються та інтегрують досягнення ІВ дослідницького проектування й інтелектуальних GRID-систем [8, 11].

Функціонуючи як віртуальне динамічне середовище, GRID забезпечує роботу кінцевих користувачів та виконання додатків як єдина комп'ютерна система, що поєднує як окремі системи, а й організації, різні комп'ютерні архітектури і програмне забезпечення. При цьому пропонується необмежена потужність, можливість спільної роботи та доступ до інформації всім користувачам мережі GRID.

Важливі додатки мають GRID-технології під час створення віртуальних програмних комплексів. Стратегія GRID-технологій дозволяє забезпечити такі переваги:

- підвищення ефективності використання всіх обчислювальних ресурсів усередині кожної організації та всіх інших організацій, які забезпечують функціонування системи;

- створення віртуальної організації (полігону), яка працює над єдиними проблемами, дозволяючи спільно використовувати додатки та дані, забезпечуючи зниження сукупної вартості обчислень шляхом роздільного використання та управління обчислювальними ресурсами;

- можливість роботи з великими завданнями, потребують величезних обчислювальних потужностей, об'єднання комп'ютерних обчислень, системи зберігання даних та інших ресурсів.

Об'єднання інформаційних ресурсів і створення єдиного інформаційного простору на базі GRID-технологій відкриває можливості об'єднання ресурсів, що відрізняються за продуктивністю, архітектурою, характеристиками тощо. Саме здатність GRID поєднувати гетерогенні ресурси, надавати одноналітний доступ користувачам, забезпечувати якісне, надійне та недороге обслуговування з гарантованою продуктивністю, а також забезпечувати універсальність середовища моделювання (за додатками, сервісами, ресурсами) спрямовує цю технологію нині на такі позиції.

Основні проблеми досліджень під час реалізації GRID-технологій пов'язані з вирішенням питань обчислювальної потужності, створення єдиного інформаційного простору, програмного репозиторію та системної інтеграції для забезпечення режиму

реального часу. Прогрес, досягнутий в галузі організації розподілених обчислень, а також досвід участі в міжнародних проектах GRID дозволяють успішно розбудовувати цей напрямок як обчислювальний інструментарій, що є сукупністю розподілених комп'ютерних ресурсів, доступних через локальну або розподілену мережу.

Таким чином, найбільший ефект при використанні GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування ІСППР дозволяє вирішувати завдання об'єднання різнорідних ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноналітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати ресурси для загального та розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу.

Для прогнозування стану ДО 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. З даних прогнозу система виробляє практичні рекомендації в такий спосіб, щоб уникнути цієї небезпеки. Реалізація принципу нелінійної самоорганізації розробки бази знань ІСППР вимагає великого обсягу обчислювальних операцій, (оцінка динаміки об'єкта екологічного спостереження з урахуванням математичного моделювання екстремальних ситуацій з наступним формулюванням відповідних критеріальних оцінок).

Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення управлінських екологічних рішень здійснюється формальним шляхом на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення ІСППР (несуперечливість, стійкість та самоузгодженість) [4, 23].

Отже, системи ІСППР як інструментарій багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації спонукають до створення загальносистемних принципів та підходів. Під час створення ІСППР слід керуватися такими базовими інваріантними і концепціями: бази знань у системі мають еволюційно самоорганізовуватися; інформаційно-обчислювальні конфігурації ІСППР синтезуються адаптивно; доцільне застосування GRID-технологій при обробці інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі ІСППР (нелінійна самоорганізація та м'які обчислення).

Висновки. У праці запропонована концепція створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Процес розроблення концепції створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки передбачає формалізацію таких процесів: визначення особливостей автоматизації експертної обробки та процесу прийняття рішень у системах екологічного управління; формування архітектури системи інте-

лектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначення потоків відповідних інформацій в системі; застосування в ІСППР інтелектуальної технології GRID-систем. Обґрунтована архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття управлінських екологічних рішень та визначено потоки інформації, що реалізує концепцію системи підтримки прийняття рішень. Зазначено, 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 розроблення (проектна складність).

Використанні GRID-технології для створення єдиного інформаційного простору функціонування

ІСППР дозволяє вирішувати завдання об'єднання різнотипових ресурсів (обчислювальні засоби, програмне забезпечення, бази даних, знання) та здійснювати одноманітний доступ (організацію інтерфейсу користувача) і делегувати їх для загального та розподіленого використання та управління системою доступу зовнішніх користувачів до розподіленого ресурсу.

В рамках рекомендацій та перспективи подальшого дослідження розглянутої теми варто зазначити, що отримані результати дають змогу використовуватися з метою забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів. Окрім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо поліпшення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктами критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.

Література

1. 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.
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. 60 с.
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. URL: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html>.
7. Шевченко О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ІППШ, 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.77–84.