

І. П. Каменева, В. О. Артемчук, А. В. Яцишин, м.Київ

АЛГОРИТМІЧНІ ЗАСОБИ ПОБУДОВИ ГІБРИДНОЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ГАЛУЗІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Abstract. Developed semantic domain model and algorithmic provision of basic units of hybrid intellectual system-oriented decision-making in environmental safety (block development and adaptation of mathematical models, building block predictive scenarios dangerous situation and the power of visual display analysis results)

Вступ. В умовах нестабільного розвитку економіки, збільшення техногенних навантажень на екологічні системи, відсутності достовірної інформації про окремі навантаження необхідно підкреслити особливу роль інтелектуальних технологій та комп'ютерних засобів підтримки наукових досліджень в галузі екологічної безпеки.

Як відомо, до інтелектуальних систем відносимо системи, ядро яких становить база знань, або модель предметної області, представлена з допомогою мовних засобів досить високого рівня, наближених до природної мови. Мова такого рівня визначається як мова представлення знань.

До найбільш поширеного класу інтелектуальних систем належать експертні системи. Згідно з [1], експертні системи – це інтелектуальні системи, призначені для тиражування досвіду фахівців високої кваліфікації в тих галузях, де якість прийняття рішень традиційно залежить від рівня експертних знань, зокрема, в медицині, екології, геології.

Отже, головна відмінність інтелектуальних експертних систем від інших програмних засобів – це наявність бази знань, де потрібні в даній галузі знання зберігаються в зрозумілій та зручній для фахівців формі й можуть бути змінені або доповнені в такій же зручній формі. Для збереження та розширення знань розроблені конкретні мови представлення знань.

В останні роки найбільші труднощі в розробці інтелектуальних систем, заснованих на знаннях, викликає не процес комп'ютерної реалізації таких систем, а попередні етапи аналізу інформації та побудови баз знань.

Задачі інтелектуальної системи в галузі екологічної безпеки. Розглянемо основні типи задач, які можна вирішувати з допомогою інтелектуальних систем, орієнтованих на дослідження стану навколишнього середовища та управління в галузі екологічної безпеки.

Моніторинг природних систем. Основним призначенням моніторингу довкілля є безперервне спостереження за станом природних об'єктів в реальному масштабі часу та вчасна сигналізація про вихід тих або інших параметрів за допустимі межі. Тут основні проблеми виникають при визначенні ступеня небезпеки досліджуваних ситуацій. Тому важливо

виявляти і фіксувати всі можливі ознаки небезпеки, але в той же час не бажано враховувати помилкові сигнали про можливу небезпеку. В багатьох випадках симптоми небезпеки досить розмиті та неоднозначні. Отже, необхідно мати оцінки як поточних параметрів ситуації, так і наявного досвіду щодо можливої небезпеки, тобто експертних знань про прийняті норми та їх порушення.

Аналіз та інтерпретація даних. Аналіз даних моніторингу належить до традиційних задач когнітивного аналізу даних. В даному контексті когнітивний аналіз багатовимірної інформації поєднує методи інтелектуального аналізу даних із широким спектром можливостей когнітивної комп'ютерної графіки. Іншими словами, задача когнітивного аналізу екологічної інформації спрямована на пошук цілісного уявлення про досліджувані ситуації у просторі інформативних параметрів (індексів або індикаторів екологічного стану).

Під інтерпретацією даних розуміється процес визначення змісту експериментальних даних, результати якого мають бути узгодженими та коректними. Звичайно передбачається декілька різних варіантів аналізу даних моніторингу з метою виявлення та оцінки ситуацій, які становлять небезпеку для природного середовища і населення.

Діагностика (оцінка). Розглядається процес співвідношення об'єкта (зокрема, стану довкілля) з певним класом об'єктів (станів), спрямований на виявлення певних порушень у функціонуванні даного об'єкта. Порушення (збій) в даному контексті розглядається як досить помітне відхилення від норми. Такий підхід дозволяє з єдиних теоретичних позицій розглядати і несправність устаткування в технічних системах, і захворювання живих організмів, й окремі аномалії в природних системах, викликані антропогенним впливом. В сучасних дослідженнях у сфері екологічної безпеки діагностика спрямована на визначення ризиків, пов'язаних з техногенними та іншими негативними впливами.

Прогнозування. Прогнозні моделі забезпечують можливість заздалегідь передбачати наслідки певних небезпечних подій або ситуацій на основі аналізу наявних даних. В прогнозуючих системах на логічному рівні розглядаються найбільш імовірні наслідки з тих або інших ситуацій. Зокрема, в таких системах використовуються параметричні динамічні моделі, де значення параметрів налаштовуються для заданої ситуації. На підставі висновків, які можна зробити за результатами роботи такої динамічної моделі, будуються певні екологічні прогнози з імовірнісними оцінками тих або інших наслідків.

Планування. В задачах планування розглядаються засоби розробки алгоритмів, які включають послідовність виконання певних дій, спрямованих на поліпшення екологічної ситуації. Для таких систем будуються моделі, які імітують поведінку реальних природних або техногенних об'єктів, щоб логічно вивести та оцінити наслідки запланованої діяльності.

Управління. Управління екологічною системою розглядається як задача

забезпечення функції складної системи, спрямованої на підтримку певного режиму діяльності. Тобто відповідні експертні системи можуть здійснювати управління поведінкою складних об'єктів відповідно до заданих обмежень на коливання значень окремих параметрів. Ставиться задача підтримувати траєкторію руху системи в межах заданого «коридору».

Підтримка прийняття рішень. Такі системи включають сукупність методів і засобів, які забезпечують особу, що приймає рішення, необхідною інформацією та рекомендаціями, які полегшують процес прийняття рішень. Використання інтелектуальних технологій допомагає фахівцям вибрати або спроектувати найбільш ефективну альтернативу серед досить великої кількості можливих варіантів, тобто забезпечити вибір оптимального з усіх можливих рішень (відповідно до заданих критеріїв).

За ступенем інтеграції з іншими програмними засобами можна виділити автономні інформаційні системи, орієнтовані на режим консультацій з користувачем при вирішенні задач, що не вимагають застосування інтелектуального аналізу даних.

Більш широкий спектр можливостей включають гібридні інформаційні системи. Це може бути програмний комплекс, що містить як стандартні пакети прикладних програм (наприклад, методи математичної статистики, геостатистичний аналіз або системи управління базами даних), так і певні засоби обробки знань. Зокрема, до гібридних систем можна віднести інтелектуальну надбудову над пакетами прикладних програм або інтегроване середовище для вирішення певного кола задач в рамках окремої предметної області, що потребують експертних знань. Розробка гібридних систем, безумовно, становить набагато складнішу проблему, ніж розробка автономної ІС, оскільки інтеграція різних підходів та методів дослідження в єдиний програмний комплекс викликає чимало теоретичних і практичних питань. На даному етапі більшість актуальних задач, спрямованих на управління екологічною безпекою, не вдалося успішно вирішити в рамках відомих автономних програмних засобів. Тому перспективні дослідження в цій галузі спрямовані на інтеграцію в єдиному інтелектуальному середовищі технологій побудови баз даних і знань, можливостей аналізу та інтерпретації експериментальних даних, а також методів математичного моделювання, які забезпечують прогнозування та оцінювання небезпечних ситуацій.

В роботах [2-4] аналізується проблема інтеграції в єдину програмну систему інструментальних засобів, призначених для реалізації двох підходів:

- (1) інформаційних технологій аналізу та візуалізації даних екологічного моніторингу урбанізованих територій з урахуванням експертних знань;
- (2) методів математичного моделювання техногенних навантажень на конкретні території (на прикладі ряду підприємств міста Києва).

Структурна схема аналізу даних моніторингу, спрямованого на виявлення небезпечних ситуацій з урахуванням експертних оцінок, затверджених нормативних документів та результатів математичного моделювання, показана на рис. 1.

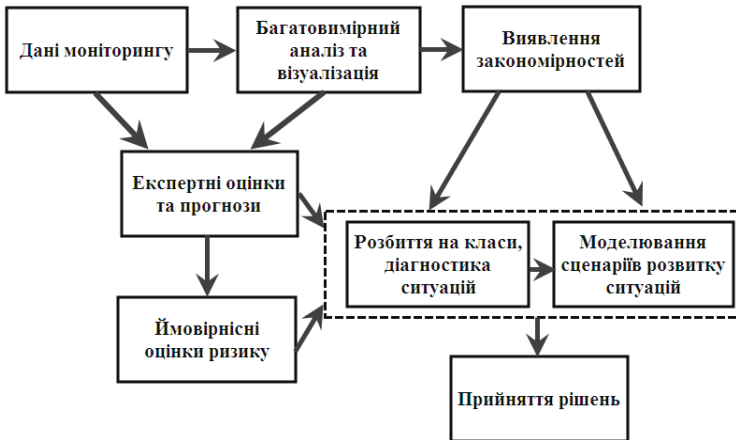


Рис. 1. Схема аналізу даних з урахуванням експертних знань

Семантична модель предметної області. Семантична модель предметної області (ПО) в даному контексті визначається як інформаційна модель, що відображує основні поняття ПО і певні відношення між ними. На сучасному етапі для формалізації ПО можна використовувати онтологічні, когнітивні та семантичні моделі ПО.

Найбільш поширеним є онтологічний підхід до моделювання ПО. Він включає об'єктний підхід, відомий в програмуванні, фреймово-мережевий формалізм представлення знань та механізм запитів з баз даних для виявлення знань про ПО. В роботі [2] представлено когнітивний підхід до моделювання ПО, який включає побудову та семантичних шкал

Як відомо, різні типи шкал застосовуються для різних способів упорядкування кількісної інформації. Під *семантичним шкалюванням* ми розуміємо методи та засоби переходу від кількісних характеристик (зокрема, кількісних даних, одержаних в результаті екологічного моніторингу) до певних засобів якісної (змістовної) інтерпретації цих даних.

При побудові баз знань інтелектуальних систем поняття семантичного простору експерта визначається як певна сукупність показників (просторових координат), за допомогою яких можна визначати та диференціювати об'єкти або поняття досліджуваної області [1]. Отже, на формальному рівні в екологічних дослідженнях семантичний простір будемо розглядати як систему координат (на площині або в багатовимірному просторі), де за значеннями окремих параметрів можна визначити екологічний стан певного об'єкту або траєкторію його руху (розвитку) в певному напрямку.

При розробці інтелектуальних технологій для організації бази знань запропоновано два альтернативних підходи до вибору *інформативних параметрів*, які можуть доповнювати один одного.

1. Експертний підхід. Вибір інформативних параметрів здійснюється експертами на основі результатів попереднього аналізу даних моніторингу територіальних систем. Зокрема, для аналізу даних про забруднення атмосферного повітря в містах України на експертному рівні було обрано індекс ІЗА, який використовувався для звітів [5], та ряд окремих речовин-забруднювачів (діоксид азоту, діоксид сірки, формальдегід тощо).

2. Багатовимірні індекси. Процедура вибору інформативних параметрів можна формалізувати за допомогою методів виявлення латентних факторів, які запропоновані для формалізації експертних знань при розробці інтелектуальних систем [1]. Структурні методи аналізу багатовимірної інформації також забезпечують можливості для переходу до багатовимірних індексів, які можуть використовуватись як індикатори досліджуваних екологічних станів або певних тенденцій до їх змін.

Алгоритми та засоби візуалізації екологічних даних. Для інтерпретації екологічної інформації розглянемо два напрямки візуалізації даних: візуалізацію даних моніторингу у вигляді екологічних карт досліджуваних територій і візуалізацію графічних образів (patterns), які відображують розподіл досліджуваних структур у просторі інформативних ознак (з візуалізацією шаблонів). Для даних, що характеризують екологічний стан окремих територіальних систем, найбільш зручним вважається представлення інформації у вигляді карт техногенних навантажень на досліджувані території або карт ризиків. Для порівняння декількох ситуацій та прогнозування використовують серії тематичних карт.

Для аналізу та візуалізації інформації про значну кількість різних ситуацій більш ефективними будуть технології DM, орієнтовані на побудову шаблонів або зразків. Шаблони можна охарактеризувати як закономірності, властиві певним вибіркам даних та представлені у досить простій формі. Вибір шаблонів базується на виявлених раніше знаннях про екологічний стан досліджуваних територій, тобто створюється формальний опис набутого досвіду, який застосовується для прийняття рішень.

Для задач екологічного моніторингу шаблони можна представити як візуальні образи певних екологічних станів, відображені в координатний простір інформативних параметрів. В сучасних системах аналізу та візуалізації даних реалізовано можливості візуального аналізу ситуацій як на площині (двовимірний візуальний аналіз), так і у просторі трьох вимірів (тривимірний візуальний аналіз).

Наведемо основні етапи алгоритму якісного аналізу екологічних даних, необхідні для створення бази екологічних знань :

1. Розробка семантичних моделей даних, де вирішуються питання попередньої обробки результатів спостережень та вимірювань. Дані необхідно представити у вигляді таблиць, де кожна ситуація визначається чисельним набором параметрів. В даному проекті для зберігання екологічної інформації створено реляційні бази даних.

2. Структурний аналіз даних. На другому етапі застосовуються відомі методи інтелектуального аналізу даних (DM), які допомагають організувати багатовимірну інформацію як множину графічних образів: кластерів, діаграм розсіювання або інших візуальних образів.

3. Виявлення еталонних ситуацій (шаблонів). Серед сукупності формалізованих ситуацій виділяються найбільш типові випадки (прототипи), кожному з яких ставиться у відповідність одна із можливих інтерпретацій. Далі такі прототипи зручно використовувати як шаблони для відображення на багатовимірній шкалі.

4. Ідентифікація нових ситуацій. Для оцінки нової (невизначеної) ситуації необхідно порівняти її з описаними раніше шаблонами. Якщо в базі знань знаходимо шаблон, який з заданою точністю описує нову ситуацію, то можна застосувати наявні знання про цей шаблон.

5. Розширення бази знань за рахунок нових ситуацій. Якщо нова ситуація не має достатнього рівня подібності ні з одним із шаблонів, але може представляти певний практичний інтерес, вона обробляється засобами оперативної пам'яті, формалізується як новий шаблон і додається до сукупності шаблонів, збережених в базі знань.

Загальну схему аналізу даних моніторингу методами DM із накопиченням досвіду наведено в роботі [6]. Вона може використовуватись як для змістовної інтерпретації даних моніторингу, так і для побудови бази знань в галузі екобезпеки (рис. 2).

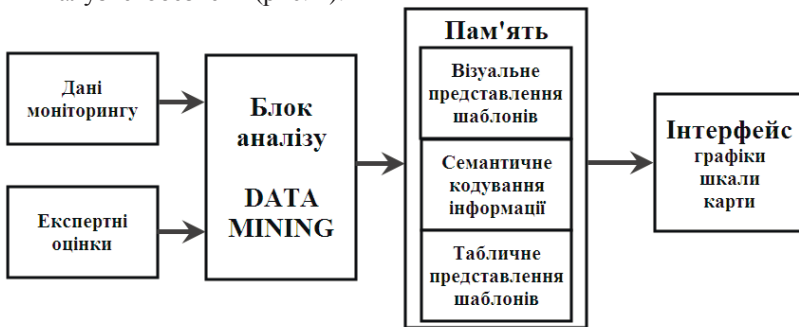


Рис. 2. Алгоритм аналізу даних із накопиченням досвіду

На основі даної схеми можна будувати конкретні алгоритми та програми для вирішення актуальних задач аналізу даних, оцінки ризиків та візуальної інтерпретації одержаних результатів.

Отже, база знань поєднує різні форми представлення даних, які можуть бути корисними для прийняття рішень. Проаналізована на попередніх етапах статистична інформація має бути представлена в базі знань разом із визначеними раніше якісними характеристиками описаних ситуацій, одержаними в результаті змістовної інтерпретації даних моніторингу

В процесі проектування інтелектуальної системи розроблено три засоби

репрезентації екологічної інформації: стандартне кодування екологічних станів у вигляді таблиць (дата, місце вимірювання, показники стану); візуальне зображення багатовимірної інформації з використанням семантичних шкал; картографічна інтерпретація досліджуваних ситуацій у вигляді карт техногенних навантажень та карт ризику.

Блок математичного моделювання техногенного впливу. Блок математичного моделювання техногенного впливу на урбанізовані території включає бібліотеку моделей та бібліотеку сценаріїв розвитку небезпечних ситуацій. В бібліотеці моделей зберігаються базові моделі процесів забруднення атмосферного повітря, які потребують налаштування щодо певних метеорологічних умов та антропогенних факторів. Відповідні сценарії розвитку небезпечних ситуацій генеруються на основі досвіду фахівців і зберігаються в бібліотеці сценаріїв.

На даному етапі розробки в бібліотеці реалізовано найбільш імовірні сценарії техногенного забруднення, зокрема, залпові викиди та забруднення протягом тривалих проміжків часу. Запропоновано також засоби розширення бібліотеки моделей та бібліотеки сценаріїв з урахуванням додаткових факторів впливу (специфіки забудови, рельєфу місцевості тощо).

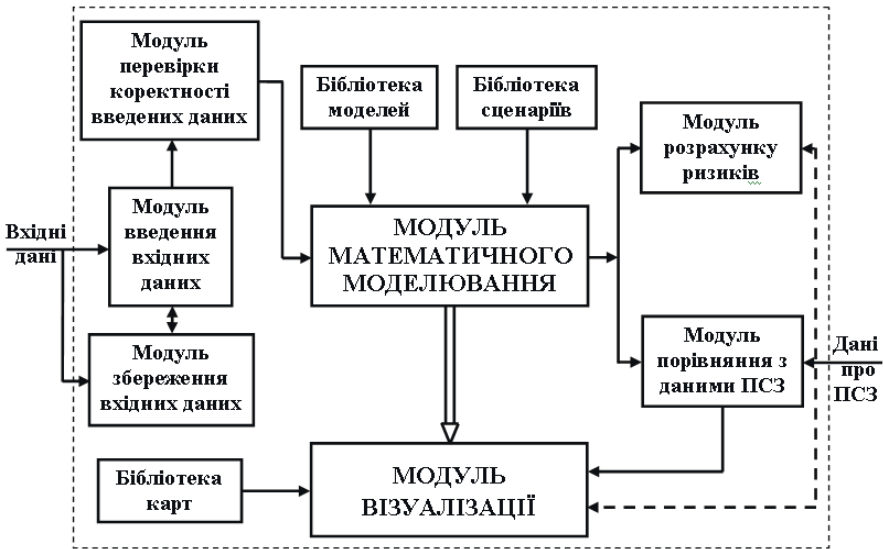


Рис. 3. Модульна структура системи

На рис. 3 показана загальна структура підсистеми, призначеної для прогнозування техногенних навантажень на атмосферне повітря та техногенних ризиків, розроблена в роботі [7]. Вхідними даними для моделювання є параметри джерел забруднення (підприємств, які негативно впливають на екологію міста), метеорологічні параметри та характеристики забруднюючих речовин.

Для математичного моделювання техногенних навантажень на місто було використано запропоновані та розроблені О.О. Поповим [7] статистичні модифікації відомих моделей МАГАТЕ і К-моделей Робертса, представлені формулами (1) та (2) відповідно:

$$C_{\bar{n}\bar{a}\bar{d}} = C_1(x, y) = \frac{Q}{\pi} \left(\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{u_{ji} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{H_{\bar{a}\bar{d}j}^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] + \right. \\ \left. + D_{\phi\delta} \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{u_{j(H_{\bar{a}\bar{d}}-L)} \sigma_{y_i} \sigma_{z_i}} \exp \left[-\frac{y_m^2}{2\sigma_{y_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{(H_{\bar{a}\bar{d}j} - L)^2}{2\sigma_{z_i}^2} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{j(H_{\bar{a}\bar{d}}-L)}} \right] \right), \quad (1)$$

$$C_{\bar{n}\bar{a}\bar{d}} = C_D(x, y) = \frac{Q}{2\pi} \left(\sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_{ji}} k_{z_i}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_{ji}} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{u_j H_{\bar{a}\bar{d}j}^2}{4k_{z_i} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{ji}} \right] + \right. \\ \left. + D_{\phi\delta} \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^k P_{mj} \sum_{i=1}^6 P_{ji} \frac{1}{x_m \sqrt{k_{y_{ji}} k_{z_i}}} \exp \left[-\frac{u_j y_m^2}{4k_{y_{ji}} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{u_j (H_{\bar{a}\bar{d}j} - L)^2}{4k_{z_i} x_m} \right] \cdot \exp \left[-\frac{\alpha x_m}{u_{j(H_{\bar{a}\bar{d}}-L)}} \right] \right), \quad (2)$$

де Q – потужність неперервного джерела, [Г/с]; p_{ji} – ймовірність i -го стану атмосфери при j -ій швидкості вітру; P_{mj} – ймовірність m -го напрямку вітру при j -ій швидкості вітру; u_{ji} – швидкість вітру на ефективній висоті факела викидів $H_{\bar{a}\bar{d}}$ при швидкості вітру на висоті флюгера u_j [м/с] для i -го стану атмосфери; $H_{\bar{a}\bar{d}j}$ – ефективна висота підйому факела викидів при j -ій швидкості вітру, [м]; $u_{j(H_{\bar{a}\bar{d}}-L)}$ – швидкість вітру на висоті $H_{\bar{a}\bar{d}} - L$ при швидкості вітру на висоті флюгера u_j [м/с] для i -го стану атмосфери; σ_{y_i} , σ_{z_i} – відповідно горизонтальна та вертикальна дисперсії i -ї стратифікації атмосфери; $x_m(x, y, \varphi_m) = x \cos \varphi_m + y \sin \varphi_m$, $y_m(x, y, \varphi_m) = -x \sin \varphi_m + y \cos \varphi_m$ – формули переходу до іншої системи координат, пов'язаної з поворотом напрямку розповсюдження забруднюючих речовин на кут φ_m відносно східного напрямку; L – висота штильового шару, [м]; $k_{y_{ji}}$, k_{z_i} – горизонтальний та вертикальний коефіцієнти турбулентної дифузії для i -го класу стійкості атмосфери, [м²/с].

До істотних переваг запропонованого інформаційно-аналітичного забезпечення над сучасними аналогами можна віднести наявність модуля розрахунку екологічних ризиків, які вважаються більш об'єктивною оцінкою небезпеки, ніж рівень концентрації окремих речовин.

Розроблені програмні засоби дозволяють перейти від просторового розподілу рівнів техногенних навантажень до розподілу індивідуальних ризиків для населення (карт ризику). Саме оцінки ризику завершують процес моделювання впливу техногенних навантажень на населення міста та визначають критерії для прийняття управлінських рішень.

Оцінювання атмосферних ризиків. При оцінюванні екологічного ризику, пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря, кількісна міра ризику визначається як імовірність реалізації потенційної небезпеки [8, 9]:

$$R = \sum_{i=1}^n W_i(\tilde{N}) \cdot P_i(\tilde{N}),$$

де $W_i(C)$ - умовна імовірність завдання шкоди людині при поглинанні концентрації (дози) C від i -го небезпечного інгредієнта; $P_i(C)$ - імовірність поглинання концентрації (дози) C при настанні несприятливих подій, пов'язаних із забрудненням атмосфери i -тим небезпечним інгредієнтом; n - число можливих небезпечних інгредієнтів у атмосферному повітрі; R - кількісна міра ризику.

Функцію $W_i(C)$ для більшості впливів можна представити у вигляді S – подібної кривої, яка відображує зв'язок виду "доза-ефект".

Відповідно до методичних рекомендацій [9, 10], аналіз ризиків для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря включає чотири етапи: ідентифікація небезпеки окремих чинників впливу; оцінка ступені дії цих чинників; встановлення залежності «доза (концентрація) - ефект»; характеристика ризиків для здоров'я населення. Враховуючи вказані методичні рекомендації, запропоновано експертно-аналітичний підхід до оцінювання ризиків на основі даних екологічного моніторингу.

На 1-му етапі проводиться попередній аналіз даних, де з урахуванням накопиченого досвіду та експертних знань вибираються найбільш інформативні параметри для проведення моніторингу техногенних навантажень на досліджувані території.

На 2-му етапі використовуємо методи структурного аналізу даних, що дозволяють отримати візуальне уявлення про досліджувані території в просторі інформативних параметрів (індикаторів і/або індексів), щоб визначити території з перевищенням допустимих норм.

3-ій етап включає визначення на основі відповідних математичних моделей імовірнісних оцінок ризику для гострих, хронічних і канцерогенних захворювань, пов'язаних із забрудненням атмосфери.

На 4-му етапі пропонуються різні засоби представлення ризиків: візуалізація отриманих розподілів ризиків з використанням картографічної основи; гістограми розподілу ризиків в межах досліджуваної території, різні способи ранжирування та побудови багатовимірних шкал.

На основі запропонованого підходу розроблено алгоритми та програмні засоби, що реалізують різні сценарії аналізу даних моніторингу з різних джерел з урахуванням експертних оцінок допустимості тих або інших рівнів ризиків для здоров'я різних категорій населення.

Висновки. Проаналізовано проблеми та перспективи застосування гібридних інтелектуальних систем для вирішення актуальних задач моніторингу навколишнього середовища, діагностики небезпечних ситуацій

та управління в галузі екологічної безпеки.

Розроблено семантичну модель предметної області, яка включає алгоритми когнітивного аналізу даних моніторингу та засоби виявлення нових знань. Для змістовної інтерпретації даних моніторингу і результатів аналізу розроблено засоби візуалізації екологічних індексів, які можна безпосередньо наносити на семантичні шкали або електронні карти.

Завершено розробку інформаційного та програмного забезпечення задач моніторингу та контролю екологічного стану урбанізованих територій, зокрема блоку статистичного аналізу й попередньої оцінки техногенних навантажень на атмосферне повітря; блоку математичного моделювання та прогнозування рівнів забруднення атмосфери і ризиків для населення; блоку візуалізації даних моніторингу та результатів аналізу.

Можливості роботи інформаційної системи проілюстровано на даних моніторингу приземного стану атмосфери міста Києва.

1. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.* Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
2. *Каменева И.П.* Когнитивный подход к анализу многомерной медико-экологической информации // Моделювання та інформаційні технології. – 2010. – Вип. 56. – С. 3-10.
3. *Каменева И.П.* Модели и методы анализа экологической безопасности урбанизированных территорий с использованием ГИС-технологий / И.П.Каменева, А.В. Яцишин // Электронное моделирование. – 2011. – № 3. – С. 95-108.
4. *Яцишин А.В.* Комплексне оцінювання та управління екологічною безпекою при забрудненнях атмосферного повітря. Дисертація докт. тех. наук. Київ, 2013. – 402 с.
5. Щомісячний бюлетень забруднення атмосферного повітря в Києві та містах Київської області. – К.: Центральна геофізична обсерваторія, 2005- 2013 рр.
6. *Каменева И.П.* Структурные модели памяти в задачах анализа многомерной экологической информации / И.П. Каменева // IV Между-народная научная конференция «МОДЕЛИРОВАНИЕ-2012». Сборник трудов конференции., К., 2012. – С. 216-219.
7. *Попов О.О.* Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 01.05.02 / О.О. Попов – К., 2010. – 198 с.
8. *Звягинцева А.В.* Обоснование методов оценки и прогнозирования риска воздействий вредных веществ при загрязнении атмосферы промышлен-ных городов. Диссертация канд. тех. наук. Донецк, 2006. - 207 с.
9. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин, С.Л. Авалиани, К.А. Буштуева. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
10. Методичні рекомендації "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря". Наказ МОЗ від 13.04.2007 № 184.

Поступила 12.09.2016 р.