

## МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

**В. С. Бахарев, І. В. Шевченко, С. С. Коваль, О. Л. Корцова, А. В. Маренич**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна. E-mail: v.s.baharev@gmail.com

Основною проблемою, що визначає ефективність систем екологічного моніторингу на муніципальному рівні в Україні, є недостатня обґрунтованість управлінських рішень щодо корекції екологічних ситуацій. У таких умовах необхідним є формальний універсальний базис, що описує інформаційно-аналітичну систему екологічного моніторингу (ІАС). Для розробки та опису складу і структури ІАС застосовано елементи теорії нечіткої логіки та нечітких множин та методи системного аналізу. На цій основі запропоновано теоретико-множинну модель ІАС екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні, що включає підсистеми моніторингу параметрів урбосистеми, підтримки прийняття рішень, інформаційний комплекс «база даних параметрів – база знань ситуацій». Розроблено модель розпізнавання проблемних (екологічно небезпечних) ситуацій. В основу структурування оперативної інформації покладено аналіз і класифікацію ситуацій (якісних оцінок стану процесу, які ґрунтуються на аналізі параметрів екологічної обстановки). Побудовано нечітку модель розпізнавання ситуацій, яка дозволяє коригувати і поповнювати базу знань і генерувати повідомлення та рекомендації щодо корекції екологічної обстановки або прийняття заходів з екологічної безпеки. У разі розробки зазначених вище складових ІАС на муніципальному рівні буде сформовано базис підсистем комплексної системи моніторингу, що дозволить забезпечити її ефективність.

**Ключові слова:** екологічна безпека, екологічний моніторинг, інформаційно-аналітична система, розпізнавання ситуацій, підтримка прийняття рішень, моделі.

## МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

**В. С. Бахарев, І. В. Шевченко, С. С. Коваль, О. Л. Корцова, А. В. Маренич**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: v.s.baharev@gmail.com

Основной проблемой, определяющей эффективность систем экологического мониторинга на муниципальном уровне в Украине, является недостаточная обоснованность управленческих решений по коррекции экологических ситуаций. В таких условиях необходимо формальный универсальный базис, описывает информационно-аналитическую систему экологического мониторинга (ИАС). Для разработки и описания состава и структуры ИАС применены элементы теории нечеткой логики и нечетких множеств и методы системного анализа. На этой основе предложено теоретико-множественную модель ИАС экологического мониторинга атмосферного воздуха на муниципальном уровне, включающей подсистемы мониторинга параметров урбосистемы, поддержки принятия решений, информационный комплекс «база данных параметров - база знаний ситуаций». Разработана модель распознавания проблемных (экологически опасных) ситуаций. В основу структурирования оперативной информации положен анализ и классификацию ситуаций (качественных оценок состояния процесса, основанные на анализе параметров экологической обстановки). Построено нечеткую модель распознавания ситуаций, которая позволяет корректировать и пополнять базу знаний и генерировать сообщения и рекомендации по коррекции экологической обстановки или принятия мер по экологической безопасности. В случае разработки указанных выше составляющих ИАС на муниципальном уровне будет сформирован базис подсистем комплексной системы мониторинга, что позволит обеспечить ее эффективность.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, экологический мониторинг, информационно-аналитическая система, распознавание ситуаций, поддержка принятия решений, модели.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Основною проблемою у спробах підвищення ефективності систем екологічного моніторингу на муніципальному рівні є недосконалість організації підсистем спостереження й оцінювання, що у кінцевому випадку призводить до недостатньої обґрунтованості в підсистемі підтримки прийняття управлінських рішень, що безпосередньо пов'язана з управлінням якістю компонентів довкілля [1–3]. За результатами ряду досліджень, проведених на прикладі конкретної техногенно навантаженої урбосистеми міста Кременчука [1, 2], встановлено базові причини недосконалості системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні, а саме – відсутність:

- диференціації постів спостережень за характером одержуваної інформації;
- належної експертної оцінки результатів спостережень;
- прогнозування метеорологічних умов, що формують забруднення атмосферного повітря та попередження населення та об'єктів промисловості про настання небезпечних метеоумов;
- структурованої бази даних системи моніторингу;
- широкого доступу громадськості до зрозумілих усім верствам населення міста результатів спостережень та їх аналізу.

Зазначені базові причини недосконалості своєю деструктивною дією формують певні негативні наслідки, що у кінцевому випадку впливають на ефективність роботи підсистеми розробки та прийняття управлінських рішень в системі екологічного моніторингу атмосферного повітря.

Розглядаючи систему екологічного моніторингу атмосферного повітря як самостійну одиницю мезосистеми моніторингу довкілля в макросистемі екологічної безпеки держави та враховуючи той факт, що структура останньої має певний рівень ієрархічності та включає в себе підсистеми, які є окремими та цілком самостійними логічними її елементами у роботі пропонується систему екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні як комплексний об'єкт.

Таким чином, розробка моделі інформаційно-аналітичної системи моніторингу екологічний обстановки в регіоні та відповідної інформаційної технології є актуальним завданням.

Для вирішення завдань моніторингу екологічної обстановки та прийняття управлінських рішень розробляються інформаційно-аналітичні системи, а також системи збору інформації від польових вимірювальних приладів і підтримки прийняття рішень щодо запобігання або усунення критичних ситуацій [3]. У роботі [4] зазначається, що системи управління в режимі реального часу та підтримки прийняття рішень базуються на складному моделюванні і вимагають застосування додаткових програмних модулів для забезпечення дотримання встановлених термінів. У роботі пропонується еталонна архітектура інтегрованої системи підтримки прийняття рішень. Архітектура системи описана без застосування математичного апарату, що призводить до обмеження можливостей її застосування і масштабування. В [5] також наголошується, що великомасштабні системи моніторингу навколишнього середовища, раннього попередження та підтримки прийняття рішень (EMEWD) мають обробляти масивні потоки даних датчиків у реальному часі. В роботі оцінюється придатність чотирьох моделей даних і відповідних технологій баз даних – бази даних документів MongoDB, реляційної бази даних PostgreSQL, сервера даних словника Redis і бази даних часових рядів In fluxDB – для роботи в якості операційної бази даних для систем EMEWD. Отримано відповіді на питання, як найкраще реалізувати тимчасові ряди в даній моделі даних, які допустимі межі обсягу оперативної бази даних, обмеження продуктивності для різних типів баз даних. В роботі [6] пропонується інноваційна платформа моніторингу довкілля на основі хмарних технологій і технологій обробки BigData. Показано перспективність обраного підходу. В роботі [7] також підкреслюється, що технології BigData, а також розширене використання хмарних обчислень і високопродуктивних обчислень, створюють нові можливості для наукомісткої інформації. В роботі [8] описується модель онтології, розроблена для моніторингу якості річкової води. При цьому вда-

ється представляти семантичні властивості даних про якість води в річці і будувати смислове значення серед різних концепцій, пов'язаних з моніторингом якості річкової води. Об'єднуючи модель онтології з методом оцінки якості води, можна отримати обґрунтовану і повну інформацію про оцінку якості води. В роботі [9] описаний підхід до аналітичної підтримки прийняття рішень на основі інтеграції технології OLAP і формального концептуального аналізу. Побудована аналітична модель як решітка формальних кубічних понять. Модель включає в себе всі можливі комбінації аналізованих об'єктів і дає можливість маніпулювати ними з метою прийняття рішень. Однак модифікація набору формальних понять може стати проблемою при спробі масштабування системи. Робота [10] присвячена створенню програмного інструменту для аналізу просторово-часових даних GroundWater (GWSDAT). Використовується просторово-часова модель для адекватної інтерпретації взаємодії результатів вимірювань – просторових і часових рядів концентрації розчинів підземних вод. Графічний користувальницький інтерфейс може використовуватися для швидкого інтерактивного аналізу тенденцій зі спрощеним складанням звітів для широкого кола користувачів. Відкриті і децентралізовані технології надають все більше можливостей для аналізу та автоматизованої підтримки прийняття рішень для різних типів користувачів. Проте, системи та інструменти підтримки екологічних рішень (EDSS) часто орієнтовані тільки на наукових і технічних користувачів, тобто, вузьке коло осіб, які приймають рішення. Це виключає участь звичайних користувачів в процесі надання відомостей і їх опосередкований вплив на прийняття рішень. У таких контекстах EDSS необхідно адаптувати для задоволення різноманітних вимог користувачів, щоб гарантувати, що він надає релевантну, зручну і актуальну інформацію для підтримки прийняття рішень для різних типів учасників. Щоб вирішити ці проблеми в роботі [11] представлена основа для розробки EDSS, яка підкреслює більш повне розуміння структур прийняття рішень і ітеративний дизайн користувальницького інтерфейсу. Однак в роботі немає формалізованого представлення системи, що надає подібний сервіс.

Аналіз літературних джерел показує, що існують методологічні проблеми побудови систем моніторингу довкілля. Зокрема:

- відсутність єдиної концептуальної основи з побудови інформаційних технологій і систем моніторингу, які функціонують у різних умовах застосування та цільового призначення;

- ускладнення єдиного формального опису різних фізичних явищ і процесів через застосування різного математичного апарату для різних цілей аналізу;

- наявність великої кількості форм представлення даних і, відповідно, типів моделей подання знань про об'єкт моніторингу, що обумовлене існуванням спеціалізованих підходів.

Проведений аналіз показує очевидну необхідність використання сучасних принципів, що базуються на перспективних інтелектуальних інформаційних технологіях для автоматизованого збору, інтеграції та комплексного аналізу всіх видів інформації, що характеризує стан екосистеми.

Отже, залишається не в повному обсязі розв'язаним завдання розробки універсальної структури інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень з управління екологічною безпекою в межах урбосистем. Перш за все, необхідним є формальний базис, що описує склад і структуру такої системи. Крім того, інтерес представляє розробка моделі розпізнавання критичних ситуацій, що має достатню універсальність.

Таким чином, метою дослідження є розроблення теоретико-множинних моделей, як основи побудови структури інформаційно-аналітичної системи муніципального екологічного моніторингу.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Для досягнення поставленої мети розв'язані наступні задачі:

1. Розробка формальної теоретико-множинної моделі інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу;

2. Розробка адаптивної нечіткої моделі розпізнавання та визначення ступеня критичності екологічних ситуацій;

3. Розробка інформаційної технології моніторингу та підтримки прийняття рішень, що доповнює опис архітектури інформаційно-аналітичної системи.

Досвід розробки систем моніторингу складних процесів показує, що система моніторингу повинна забезпечувати виконання таких функцій [12]: збір даних про первинні параметри процесів; моделювання найбільш важливих процесів в реальному часі; непряме вимірювання значень параметрів, недоступних для прямих вимірювань і виведення результатів вимірювань і обчислень на монітори користувачів; перетворення значень первинних параметрів процесу в значення ознак ситуації; розпізнавання ситуації і підтримка прийняття оперативних рішень щодо корекції ситуації; короткострокове прогнозування розвитку подій; періодичне уточнення параметрів моделей і поповнення бази знань; ведення бази даних моніторингу та історії видачі повідомлень і рекомендацій для користувачів.

Окрім того, при розробці системи моніторингу необхідно керуватися такими основними принципами [13]:

1. Організаційна, інформаційна та функціональна єдність системи моніторингу, основу якої складають:

– єдина система класифікації екологічних ситуацій, показників і критеріїв оцінки стану екосистеми;

– базові (типові) протоколи, алгоритми (програми) збору, обробки та обміну інформацією, підготовки та автоматизованої підтримки прийняття та реалізації рішень на основі даних моніторингу;

– забезпечення цілісності і несуперечності інформації в системі.

2. Застосування методів і моделей обчислювального інтелекту для отримання даних непрямих вимірювань, для аналізу, прогнозування та моделювання процесів в об'єкті моніторингу.

3. Уніфікація програмних, інформаційних і технічних засобів, забезпечення сумісності елементів підсистеми моніторингу, можливості її модульного нарощування та модернізації.

4. Підсистеми повинні бути реалізовані у вигляді сукупності спільно функціонуючих модулів (компонентів), взаємодія між якими має здійснюватися через єдине інформаційне середовище.

5. Підсистема повинна бути розроблена як сукупність незалежних, але логічно взаємопов'язаних програмних модулів та елементів для забезпечення можливості структурного і функціонального розвитку (масштабування).

З урахуванням сказаного вище, необхідно розробити теоретико-множинну модель, як основу побудови структури інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу (ІАС ЕМ).

Підготовка прийняття рішення відбувається в рамках онтології предметної області:

$$O = \langle E(AT), ER, F, AS \rangle, \quad (1)$$

де  $E$  – набір сутностей предметної області,  $AT$  – множина атрибутів сутностей;  $ER$  – множина відносин сутностей,  $F: E \times ER$  – функції інтерпретації відносин і сутностей;  $AS$  – множина аспектів задач, що визначають підмножини сутностей і зв'язків.

У загальному вигляді модель ІАС ЕМ можна представити набором:

$$M = \langle F, PC, R \rangle, \quad (2)$$

де  $F$  – функціональні підсистеми ІАС,  $PC$  – комплекси що забезпечують функціонування ІАС;  $R$  – відносини, що зв'язують елементи ІАС в єдину структуру.

Стосовно до розглянутої проблеми створення ІАС ЕМ деталізуємо зміст моделі:

$$M = \langle F(MS, SAD), IC, QM, MQM, MM, AC, SP, OC, R_1, R_2, R_3 \rangle, \quad (3)$$

де  $MS$  – підсистема моніторингу параметрів екосистеми;  $SAD$  – підсистема підтримки прийняття рішень;  $IC$  – інформаційний комплекс – бази даних значущих параметрів, база знань про виникаючі ситуації, картографічні бази даних, фактографічна база даних, довідково-нормативна база даних;  $MQ = \langle Q, LQ \rangle$  – модель якості екологічної обстановки, де  $Q$  – множина показників якості відповідно до стандартів;  $LQ$  – множина допустимих значень показників якості;  $MQM = \langle Q_M, LQ_M \rangle$  – модель якості процесу управління ситуацією, де  $Q_M$  – множина значимих показників якості управління;  $LQ_M$  – множина обмежень на керуючі впливи;  $MM$  – комплекс матема-

тичних моделей, що використовуються для вирішення задач моніторингу та розпізнавання ситуацій;  $AC$  – комплекс алгоритмів розв'язання задач моніторингу, розпізнавання та підтримки прийняття рішень;  $SP$  – комплекс інструментальних програмних засобів, що реалізують функціональні задачі ІАС ЕМ;  $OC$  – організаційний комплекс ІАС ЕМ, тобто організаційні принципи і документи, що регламентують контроль екологічної обстановки;  $R1 \subseteq Q_M \times Q$  – відображення множини показників якості управління на множини показників якості екологічної обстановки;  $R2 \subseteq MM \times F$  – розподіл моделей по підсистемах;  $R3 \subseteq F \times Q$  – відношення впливу функціональних підсистем на якість екологічної обстановки.

Для синтезу підсистеми підтримки прийняття рішень потрібно розробити її модель, а також модель пошуку оперативних рішень для особи, що приймає рішення (ОПР). Для цього, насамперед, сформулюємо задачу прийняття рішень з урахуванням специфіки предметної області.

Задача пошуку рішень формулюється наступним чином: задається деяка підмножина початкових станів, підмножина кінцевих станів і множина правил перетворення станів. Потрібно знайти таку послідовність правил, яка дозволяє керованому об'єкту перейти з поточного стану в бажане чи припустиме.

Задача пошуку рішень визначається моделлю:

$$PFS = \langle PSM, S, S_A, S_0, S_T, R_T, Q_{CS} \rangle, \quad (4)$$

де  $PSM$  – модель проблемної ситуації в предметній області;  $S$  – множина поточних станів (ситуацій);  $S_A \in S$  – підмножина допустимих станів;  $S_0 \in S$  – підмножина початкових станів;  $S_T \in S$  – підмножина цільових станів;  $R_T: S \rightarrow S$  – кінцева множина правил перетворень. Кожне правило  $R_{T_i} \in R_T$  є функцією, що реалізує відображення  $R_{T_i}: S_i \rightarrow S$ , де  $S_i$  – область визначення  $R_{T_i}$ ;  $Q_{CS}$  – множина критеріїв якості рішення.

Склад підсистеми підтримки прийняття рішень SAD представимо у вигляді:

$$SAD = \langle DSM(PSM), KB, MB, DB, SS, RR, PM, AB, IDA, UI \rangle, \quad (5)$$

де  $DSM$  – модель пошуку рішень;  $KB$  – база знань;  $MB$  – база моделей фізичних процесів, що підлягають аналізу;  $DB$  – база даних;  $SS$  – множина ознак ситуації;  $RR \subseteq Q \times SS$  – відображення множини показників, що характеризують екологічну обстановку, на множини ознак ситуації;  $PM$  – процес-менеджер, який здійснює диспетчерські функції;  $AB$  – база алгоритмів;  $IDA$  – інтерфейс з підсистемою збору даних;  $UI$  – блок інтерфейсу з користувачами.

Основними елементами інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) є моделі представлення проблемних ситуацій, моделі пошуку рішень, а також засоби організації діалогової взаємодії з користувачем (ОПР, експертом, мешканцем, що надсилає повідомлення) і засоби зв'язку з іншими інформаційними системами. Проблема ситуація може описуватися за допомогою деякої виділеної множини ознак, що за допомогою деякої структури дозволяє відображати різні взаємозв'язки між елементами проблемної області. В якості таких структур можна використовувати будь-які відомі моделі знань.

Модель пошуку рішень визначає допустимі перетворення ситуацій і набір стратегій застосування цих перетворень. Для вирішення задачі усунення несприятливої ситуації модель пошуку рішень формально визначимо набором:

$$DSM = \langle PSM, A_{SR}, SR, AAR, \rangle, \quad (6)$$

де  $A_{SR}$  – множина алгоритмів вибору продукцій та їх інтерпретації при виборі рішення;  $SR$  – множина продукцій;  $AAR$  – алгоритм поповнення множини  $SR$  в процесі функціонування СППР.

Таким чином, побудовано моделі, що дозволяють визначити склад і структуру основних функціональних елементів ІАС ЕМ.

Не менш важливою задачею є розробка моделей розпізнавання та визначення ступеня критичності

екологічних ситуацій.

В основу структурування оперативної інформації покладено аналіз і класифікацію ситуацій (якісних оцінок стану процесу, які ґрунтуються на аналізі параметрів екологічної обстановки). Експертний аналіз дозволив виявити низку ситуацій, серед яких є штатна ситуація, коли, наприклад, стан атмосфери задовільний, а також позаштатні ситуації, кожна з яких характеризується перевищенням порогових значень концентрації одної чи декілька забруднюючих речовин. Враховувалися також і ускладнюючі фактори, пов'язані з погодними умовами. Для кожної ситуації були відібрані ознаки, які прямо або непрямо впливають на її виникнення. Кожна ознака, виділена на етапі якісного аналізу, розглядалася експертами із застосуванням методу парних порівнянь на предмет її значущості щодо розпізнавання ситуації. Сформовано словники ситуацій та ознак ситуацій. Для розпізнавання кожної ситуації сформовані вербальні правила. Приклад правила: ЯКЩО <концентрація оксиду вуглецю = «підвищено»> І <район підвищення концентрації оксиду вуглецю = «5»> ТО <Видати попередження керівництву підприємства «XXX»>.

У процесі розвідувального аналізу даних проведено, зокрема, кластеризацію у просторі ознак, яка дозволила виявити області, характерні для різних ситуацій. Уточнення меж кластерів виконувалось шляхом експертних оцінок. Аналіз наявних у розпорядженні розробників даних, показав: коефіцієнт ва-

ріації вибірок становить 33 ... 40%; між деякими ознаками є кореляція; вибірки містять «аномальні» значення та пропуски даних, які неможливо відновити традиційними методами. Окрім того аналітична система повинна використовувати не тільки числові, але також і вербальні оцінки. Тому вибрана нечітка модель класифікації, яка добре зарекомендувала себе у розв'язанні задач розпізнавання за відсутності властивості сепарабельності у кластерів. Кластеризація ознак і попереднє формулювання правил забезпечують логічну прозорість моделі.

На першому етапі розробки нечіткої моделі розпізнавання ситуацій побудовано функції приналежності для лінгвістичних змінних – ознак ситуацій, а

також базу знань. У процесі кластеризації було виявлено, що щільності різних кластерів однієї й тієї ж ознаки різні. Іншими словами, має місце різна інформативність ознак щодо кожного правила. З урахуванням того, що базові підмножини (кластери) вже сформовані експертами, у моделі розпізнавання введені вагові коефіцієнти  $w^{ji}$  для кожного елементарного посилення в кожному правилі. Значення коефіцієнтів обмежені діапазоном [0,5 ... 1]. При цьому одичне значення еквівалентно стовідсотковій значущості посилення. Якщо кількість ознак ситуацій  $n$ , а число ситуацій  $m$ , то, з урахуванням введення коефіцієнтів  $w^{ji}$ , база нечітких знань в загальному вигляді може бути зображена у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Структура бази нечітких знань з діагностики ситуацій

№, з/п	Вхідні змінні та коефіцієнти індивідуальної настройки елементарних посилок								Вихідна змінна
	$x_1$		$x_2$		... $x_i$ ...		$x_n$		$D$
$1_1$	$A_1^{11}$	$w_1^{11}$	$A_2^{11}$	$w_2^{11}$	$A_i^{11}$	$w_i^{11}$	$A_n^{11}$	$w_n^{11}$	$d_1$
$1_2$	$A_1^{12}$	$w_1^{12}$	$A_2^{12}$	$w_2^{12}$	$A_i^{12}$	$w_i^{12}$	$A_n^{12}$	$w_n^{12}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$1_{kl}$	$A_1^{1k_1}$	$w_1^{1k_1}$	$A_2^{1k_1}$	$w_2^{1k_1}$	$A_i^{1k_1}$	$w_i^{1k_1}$	$A_n^{1k_1}$	$w_n^{1k_1}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$j_1$	$A_1^{j1}$	$w_1^{j1}$	$A_2^{j1}$	$w_2^{j1}$	$A_i^{j1}$	$w_i^{j1}$	$A_n^{j1}$	$w_n^{j1}$	$d_j$
$j_2$	$A_1^{j2}$	$w_1^{j2}$	$A_2^{j2}$	$w_2^{j2}$	$A_i^{j2}$	$w_i^{j2}$	$A_n^{j2}$	$w_n^{j2}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$j_{kp}$	$A_1^{jk_p}$	$w_1^{jk_p}$	$A_2^{jk_p}$	$w_2^{jk_p}$	$A_i^{jk_p}$	$w_i^{jk_p}$	$A_n^{jk_p}$	$w_n^{jk_p}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$m_1$	$A_1^{m1}$	$w_1^{m1}$	$A_2^{m1}$	$w_2^{m1}$	$A_i^{m1}$	$w_i^{m1}$	$A_n^{m1}$	$w_n^{m1}$	$d_m$
$m_2$	$A_1^{m2}$	$w_1^{m2}$	$A_2^{m2}$	$w_2^{m2}$	$A_i^{m2}$	$w_i^{m2}$	$A_n^{m2}$	$w_n^{m2}$	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	
$m_{kn}$	$A_1^{mk_m}$	$w_1^{mk_m}$	$A_2^{mk_m}$	$w_2^{mk_m}$	$A_i^{mk_m}$	$w_i^{mk_m}$	$A_n^{mk_m}$	$w_n^{mk_m}$	

Елемент  $A_i^{jp}$ , що знаходиться на перетині  $i$ -го стовпця та  $j_p$ -го рядка відповідає лінгвістичній оцінці параметра  $x_i$  в рядку матриці знань з номером  $j_p$ . Лінгвістична оцінка вибирається з терм-множин, що відповідають змінній  $x_i$ , яка описує стан процесу, тобто  $A_i^{jp} \in T_i, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, p = \overline{1, k_j}$ . Тоді удосконалена нечітка модель розпізнавання ситуацій виглядає таким чином:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \bigcap_{i=1}^n \left[ (x_i = A_i^{jp}) w_i^{jk_p} \right] \rightarrow d_j, \quad (7)$$

де  $d_j$  – діагностичний висновок щодо поточної ситуації.

Діагностика ситуації передбачає визначення ступеня критичності. На першому етапі процедури визначення критичності для кожної ознаки  $x_i$  з прави-

ла, що визначає ситуацію  $S$ , фіксують значення  $x_i^*$  як відстань від центра кластера номінального режиму до поточної робочої точки. На другому етапі обчислюють ступінь критичності як зважену суму значень ознак:

$$K_S = \sum_{i=1}^{n_S} \alpha_i x_i^*, \quad (8)$$

де  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт значущості ознаки з точки зору критичності ситуації. Для оцінювання значущості ознак у конкретних ситуаціях використовувався метод парних порівнянь.

На третьому етапі для лінгвістичної оцінки критичності ситуації використовують лінгвістичну змінну з трьома значеннями: «Незначна» (у центрі кластера номінального режиму); «Середня» – у центрі кластера критичного режиму; «Висока» – від критичної зони і вище.

Після розпізнавання ситуації та оцінювання її критичності СППР повинна видати рекомендацію щодо корекції ситуації. Якщо у двох ситуаціях ступінь критичності однаковий, то необхідно, щоб СППР видала рекомендації з урахуванням спільної появи ситуацій. Для розв'язання цієї проблеми була сформульована матриця попарної сумісності критичних ситуацій. Для сумісних ситуацій формуються окремі правила усунення.

Таким чином, побудована нечітка модель розпізнавання ситуацій (7)–(8), яка дозволяє коригувати і поповнювати базу знань і генерувати повідомлення та рекомендації щодо корекції екологічної обстановки або прийняття заходів безпеки.

Розглянемо задачу навчання та донавчання СППР. Ця задача містить два аспекти – поповнення бази знань (БЗ) і корекції вагових коефіцієнтів антецедентів правил. Поповнення бази знань відбувається, якщо оператор виявляє невраховану критичну або нештатну ситуацію. Протягом усього процесу моніторингу дані про всі вимірювані та контрольовані параметри зберігаються в окремій таблиці бази даних і періодично архівуються. Під час аналізу архівних даних виділяються вектори значень параметрів, що передували виникненню несприятливої ситуації. Оскільки є можливість появи декілька ситуацій одночасно, необхідно розробити матрицю сумісності ситуацій та відповідні правила прийняття рішень.

Корекція вагових коефіцієнтів елементарних посилай здійснюється при підготовці бази знань до використання у складі СППР, або за отриманням нової підвибірки прикладів. Кожен приклад містить пару «вхід-вихід»  $\langle X^*, d^* \rangle$ , тобто вектор значень ознак ситуації та номер відомої ситуації як шаблон. Підбір значень вагових коефіцієнтів проводиться за допомогою еволюційного алгоритму, який генерує популяцію рішень, реалізує мутацію, відбір та уточнення координат рішень-лідерів. Доновчання відбувається у міру накопичення нової підвибірки прикладів у процесі експлуатації системи.

Для корекції БЗ у разі виявлення відомої критичної або нештатної ситуації, значення ознак якої відрізняються від значень ознак, наявних у базі знань, розроблено алгоритм, який полягає в обчисленні ступеня істинності нового антецедента, порівняння отриманого значення з порогом і перевірки існування його аналога. Якщо ступінь істинності вищий за поріг і аналог існує, коригуються значення вагових коефіцієнтів елементарних посилай. Інакше антецедент додають до правила зі знаком диз'юнкції.

У разі впровадження зазначених вище складових ІАС на муніципальному рівні буде сформовано базис комплексної системи моніторингу, що дозволить забезпечити її ефективність. Наявність розгалужених безпосередніх взаємозв'язків підсистем у комплексі мають забезпечувати єдність системи моніторингу для раціонального виконання поставлених завдань.

ВИСНОВКИ. Встановлено, що загально прийнята структурно-логічна схема організації системи

моніторингу довкілля в Україні для розв'язання завдань управління екологічною безпекою в сфері забруднення атмосферного повітря на рівні конкретних урбанізованих територій (на муніципальному рівні) на даний час не такою, що адекватно відображає сукупність підсистем, які мають забезпечувати її ефективність, тобто адекватну та своєчасну реакцію на прогнозовані що пов'язані з екологічною безпекою. Розроблено моделі, що описують архітектуру інформаційно-аналітичної системи моніторингу та підтримки прийняття рішень щодо заходів, які забезпечують екологічну безпеку урбанізованих територій на муніципальному рівні. Розроблено адаптивну нечітку модель розпізнавання ситуацій у процесі моніторингу екологічної обстановки, яка дозволяє просте масштабування системи підтримки прийняття рішень.

У подальших дослідженнях планується практичне застосування експериментального зразка інформаційно-аналітичної системи моніторингу та підтримки прийняття оперативних рішень щодо корекції ситуації з екологічною безпекою розглянемо на прикладі конкретної техногенно навантаженої урбосистеми.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бахарев В.С., Маренич А.В., Журавська М.К. Аналіз адекватності діючої мережі та обґрунтування пропозицій щодо розміщення стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря у м. Кременчук. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 4 (99). С. 80–87.
2. Бахарев В.С. Недосконалість існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми: причини, наслідки, шляхи вдосконалення. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2016. № 5 (100). С. 76–81.
3. Яцишин А.В. Екологічна безпека техногенно-навантажених регіонів: аспекти управління. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ": зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ "ХПІ", 2011. № 24. С. 72–76.
4. Bartosz Balis, Tomasz Bartynski, Marian Bubak, Daniel Harezlak, Marek Kasztelnik, Maciej Malawski, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, and Kasztelnik, Maciej Malawski, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, and Bartosz Wilk. Smart levee monitoring and flood decision support system: reference architecture and urgent computing management. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 108. P. 2220–2229.
5. Bartosz Balis, Marian Bubak, Daniel Harezlak, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, and Bartosz Wilk. Towards an operational database for real-time environmental monitoring and early warning systems. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 108. PP. 2250–2259.
6. Ferreira L., Putnik G., Lopes N., Lopes A., Cruz-Cunha M. A cloud and ubiquitous architecture for effective environmental sensing and monitoring. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 64. PP. 1256–1262.

7. Rob Lokers, Rob Knapen, Sander Janssen, Yke van Randen, Jacques Jansen. Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science. *Environmental Modelling & Software*. 2016. Vol. 84. PP. 494–504.

8. Zhu Xiaomina, Yi Jianjuna, Huang Xiaoci, Chen Shaoli. An Ontology-based Knowledge Modelling Approach for River water Quality Monitoring and Assessment. *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 96. PP. 335–344.

9. Korobko A.V., Penkova T.G. On-line analytical processing based on formal concept analysis. *Procedia Computer Science*. 2010. Vol. 1. PP. 2311–2317.

10. Wayne R. Jones, Michael J. Spence, Adrian W. Bowman, Ludger Evers, Daniel A. Molinari. A software tool for the spatiotemporal analysis and reporting of groundwater monitoring data. *Environmental Modelling & Software*. 2014. Vol. 55. PP. 242–249.

11. Zed Zulkafli, Katya Perez, Claudia Vitolo, Wouter Buytaert, Timothy Karpouzoglou, Art Dewulf, Bert De Bievre, Julian Clark, David M. Hannah, Simrita Shaheed. User-driven design of decision support systems for polycentric environmental resources management. *Environmental Modelling & Software*. 2017. Vol. 88. PP. 58–73.

12. Каменева И.П. Компьютерные средства оценивания экологических рисков с использованием структурного анализа данных мониторинга. *Электронное моделирование*. Киев: НАН Украины, Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова, 2013. Том. 35. Вып. 6. С. 99–114.

13. Бахарев В.С., Шевченко І.В., Коваль С.С., Корцова О.Л. Інформаційно-технологічні аспекти управління екологічною безпекою в системах муніципального моніторингу атмосферного повітря. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2017. № 4 (105). С. 68–73.

## MODELS OF INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM OF DECISION-MAKING SUPPORT CONCERNING ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT

V. Bakharev, I. Shevchenko, S. Koval, O. Kortsova, A. Marenych

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: v.s.baharev@gmail.com

**Purpose.** To create fuzzy model of situation recognition which allows to correct and replenish the knowledge base and generate reports and recommendations for correction of the environmental situation or taking measures for environmental safety. **Methodology.** Elements of the theory of fuzzy logic and fuzzy sets and methods of system analysis are used to design and describe the composition and structure of the IAS. **Results.** The theoretical multiplicity model of IAS of atmospheric air environmental monitoring at the municipal level is proposed, which includes the subsystem of the urbosystem parameters monitoring, decision-making support, the information complex "parameters database - situation knowledge database". A model for identifying problem and environmentally hazardous situations is developed. The structure of operational information is based on the analysis and classification of situations (qualitative assessments of the state of the process, based on the analysis of environmental parameters). **Originality.** The theoretical multi-model IAS of atmospheric air environmental monitoring at the municipal level has been developed, which includes the subsystem of the urbosystem monitoring parameters, decision-making support, information system "parameters database - situation knowledge database" and allows operatively to recognize environmentally hazardous situations and to make adequate decisions on their correction. **Practical value.** In the case of implementation of the above-mentioned components of IAS at the municipal level, a basis for an integrated monitoring system will be formed, which will ensure its effectiveness. The presence of branched direct interconnections of the subsystems in the complex should ensure the unity of the monitoring system for rational implementation of the tasks.

**Key words:** environmental safety, environmental monitoring, information-analytical system, recognition of situations, support of decision-making, models.

### REFERENCES

1. Bakharev, V.S., Marenych, A.V., Zhuravska, M.K. (2016), "Analiz adekvatnosti diyuchoi merezhi ta obgruntuvannya propozycji shodo rozmishennia stacionarnich postiv sposteregennia za stanom atmosfernogo povitria in Kremenchuk", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 4, no. 99, pp. 80–87.

2. Bakharev, V.S. (2016), "Nedoskonalist' isnyuchoii systemy ekologichnogo monitoring atmosfernogo povitria na rivni urbosystemy: prichyny, naslidky, shliahy vdoskonalennia", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 5, no. 100, pp. 76–81.

3. Yacyshyn, A.V. (2011), "Ecologichna bezpeka technogenno-navantaghenykh regioniv: aspekty upravlinnia", *NTU «KhPI» Bulletin: New solutions in*

*modern technologies*, no. 24, pp. 72–76.

4. Bartosz Balis, Tomasz Bartyński, Marian Bubak, Daniel Harezlak, Marek Kasztelnik, Maciej Malawski, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, Kasztelnik, Maciej Malawski, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, Bartosz Wilk (2017), "Smart levee monitoring and flood decision support system: reference architecture and urgent computing management". *Procedia Computer Science*, no. 108, pp. 2220–2229.

5. Bartosz Balis, Marian Bubak, Daniel Harezlak, Piotr Nowakowski, Maciej Pawlik, Bartosz Wilk (2017), "Towards an operational database for real-time environmental monitoring and early warning systems". *Procedia Computer Science*, no. 108, pp. 2250–2259.

6. Ferreira, L., Putnik, G., Lopes, N., Lopes, A., Cruz-Cunha, M. (2015), "A cloud and ubiquitous architecture for effective environmental sensing and

monitoring”, *Procedia Computer Science*, no. 64, pp. 1256–1262.

7. Lokers, R., Knapen, R., Janssen, S., van Randen, Y., Jansen, J. (2016), Analysis of Big Data technologies for use in agro-environmental science, *Environmental Modelling & Software*, Iss.84, pp. 494–504.

8. Zhu Xiaomina, Yi Jianjuna, Huang Xiaoci, Chen Shaoli (2016), “An Ontology-based Knowledge Modelling Approach for River water Quality Monitoring and Assessment”, *Procedia Computer Science*. no. 96, pp. 335–344.

9. Korobko, A.V., Penkova, T.G. (2010), “On-line analytical processing based on formal concept analysis”, *Procedia Computer Science*. no. 1, pp. 2311–2317.

10. Jones, W.R., Spence, M.J., Bowman, A.W., Evers, L., Molinari, D.A. (2014), “A software tool for the spatiotemporal analysis and reporting of groundwater monitoring data”, *Environmental*

*Modelling & Software*, no. 55, pp. 242–249.

11. Zulkafli, Z., Perez, K., Vitolo, C., Buytaert, W., Karpouzoglou, T., Art D., Bievre, B., Clark, J., Hannah, D.M., Shaheed, S. (2017), “User-driven design of decision support systems for polycentric environmental resources management”, *Environmental Modelling & Software*, no. 88, pp. 58–73.

12. Kamenieva, I.P. (2013), “Komp’yutnie sredstva ocenivania ekologicheskikh riskov s ispolzovaniem strukturnogo analiza danih monitoring”, *Electronic Modeling*, vol. 35, no. 6, pp. 99–114.

13. Bakharev, V.S., Shevchenko, I.V., Koval, S.S., Kortsova, O.L. (2017), “Informaciyno tekhnologichni aspekty upravlinnya ekologichnoyu bezpekoyu v systemah municipalnogo monitoryngu atmosfernogo povitria”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 4, no. 105, pp. 68–73.

Стаття надійшла 14.05.2018.