

В.В. Ткаченко

НДЦ ЗС України «Державний океанаріум», Одеса

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСНИХ ЗНАТЬ

У статті розглянуто питання комплексного оцінювання екологічного ризику забруднення атмосфери як задача прийняття рішень в умовах невизначеності та неповноти інформації. Запропоновано підхід до побудови узагальненої моделі управління екологічною безпекою на основі процесної моделі представлення знань та алгебро-предикатних структур для формалізації моделі. Запропонований підхід дозволяє виявляти неявні знання та адаптувати їх до вирішення нагальних задач управління. Розглянуто принципи побудови реляційної мета мережі накопичення знань. Наведено переваги моделі процесних знань для вирішення завдань управління екологічною безпекою.

**Ключові слова:** екологічна безпека, інформаційна система, процесні знання, модель, прийняття рішень, алгебра предикатів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Підготовка комплексних рішень для узгодження суперечливих умов економічного розвитку і безпечного функціонування промислових об'єктів являє собою необхідну передумову національної безпеки кожної країни. Проблеми природно-техногенної безпеки обумовлені дестабілізаційними процесами, ігноруванням вимог концепції сталого розвитку, виходом відповідних показників за нормативні рівні. Прогнозування і попередження катастроф природної та техногенної сфер базується на результатах моніторингу стану об'єктів і джерел катастроф, моделюванні катастрофічних природних процесів і техногенних аварій.

Особливістю прийняття рішень при транскордонних техногенних аваріях є ситуація, характеристики якої стають відомими лише після того, як подія вже відбулася. Тобто прийняття рішень здійснюється за умов неповної, неточної, недостовірної інформації. Ефективне вирішення складної управлінської задачі в умовах швидкої зміни обстановки та слабкої структурованості вхідних даних вимагає від особи, яка приймає рішення, проявів інтелектуальних навиків щодо оброблення нечіткої, недостатньої, інколи надлишкової або суперечливої інформації.

Враховуючи те, що кожна аварія є унікальною, неможливо передбачити її подальший перебіг, оскільки варіантів її розвитку може бути дуже багато. В таких випадках прийняття рішення базується на накопиченому досвіді. Типовий прецедент представляє собою структуру, яка складається з опису проблеми, що характеризує ситуацію на момент виникнення аварії, та перелік можливих варіантів прийняття рішень, а також можливі ситуації, які ймовірно складуться після.

Такі складні ситуації прийняття рішень як аналіз ризиків та наслідків транскордонних аварій, які характеризуються значною невизначеністю та неповнотою інформації, вимагають спеціальних методів моделювання. Різні умови та варіанти розвитку подій представляють собою альтернативні ланцюги, які є вихідною інформацією для аналізу та розробки ефективних дій. З іншого боку, окремі частини таких ланцюгів містять в собі попередній досвід, знання фахівців, причини та наслідки певних подій та т.ін. Для полегшення аналізу таких ланцюгів важливо знайти спільні події та відкинути особливості і дублювання.

Комплексне оцінювання екологічного ризику є однією з основ прийняття рішення щодо запобігання несприятливого впливу факторів на здоров'я населення та екосистему. Оцінювання екологічного ризику забруднення атмосферного повітря та його характеристика одночасно є першою ланкою процедури управління ним. Основна мета управління екологічним ризиком полягає у виявленні шляхів зниження ризику при заданих обмеженнях на ресурси і час. У зв'язку з цим, актуальною є задача пошуку математичного апарату для вираження процесної складової знань щодо підтримки прийняття рішень при оцінюванні ризиків транскордонних хімічних аварій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми хімічних аварій, усунення їх наслідків, прогнозування та оцінювання можливих ризиків широко вивчені в літературі [1–3]. При цьому можна виділити два основні напрямки досліджень: оцінка наслідків аварії (яка речовина розсіялася, як саме, які при цьому були погодні умови, ландшафт території і т.п.) [4; 5] та визначення дій, які направлено на зниження рівня руйнівних наслідків аварії [6; 7]. У другому випадку важливо сформулювати рекомен-

дації для ефективних дій рятувальників. Для цього вробилися спроби розробки систем підтримки прийняття рішень при аварійних ситуаціях [8; 9].

У роботі зі складними та непередбачуваними процесами інформаційні системи підтримують та дозволяють автоматизувати вибір альтернативних рішень на основі обробки та використання формалізованих знань. Недостатня розробленість концепції представлення і використання неявних знань в інформаційних системах вимагає аналізу підходів до виявлення та використання неявних знань людиною з тим, щоб на цій основі розробити моделі представлення та методи використання таких знань. Дослідження по Process mining спрямовані на підтримку і поліпшення процесу прийняття рішень шляхом надання методів і інструментів для аналізу даних [10].

Проблема отримання неявних знань вперше була розглянута в філософських роботах М. Полані [11]. Він розглядав персональне знання як чинник, що забезпечує перевагу людини над тваринами і характеризував його через призму володіння мовою. Підходи до формалізації знання людини, в тому числі через мову, спираються на неформалізовані контексти. Саме тому складно виділити тільки явне знання. Всі слова, формули, схеми спираються на неявні знання людини і без них втрачають свій сенс. Знання людини завжди поділяється на дві складові – «що» і «як», причому зазвичай виділяється «знання-що», а «знання-як» – мається на увазі [11]. Іншими словами, знання першого виду людина зазвичай може озвучити, записати, формалізувати. Знання другого виду дуже важко піддається поясненню. Так, людина легко вирішує завдання розпізнавання зображень, знаходячи своїх знайомих на фото. Однак зазвичай важко пояснити, як людина це визначає.

Таким чином, концепція отримання неявних знань задля цілей підвищення ефективності управління складними системами екологічної безпеки є перспективним та актуальним напрямком наукових досліджень.

**Формулювання мети статті.** Метою статті є розробка моделі адаптації процесних знань для підвищення ефективності прийняття рішень в системах з неповною, неточною або протирічною інформацією.

Відповідно до поставленої мети сформулюємо основні задачі: розглянути особливості явних та неявних знань; дослідити переваги процесної моделі представлення знань; визначити математичний апарат для побудови моделі; побудувати процесну модель у загальному вигляді та дослідити можливості запропонованого підходу.

## **Виклад основного матеріалу**

Між неявними і явними знаннями існують такі відмінності:

– в разі явного знання людина може пояснити, записати, формалізувати закономірності, які були використані;

– в разі неявного знання ми можемо виділити практичний результат його застосування без пояснення того, як цей результат був отриманий.

Розгляд неявних знань як важливого елемента отримання явних знань пов'язаний з розширеним розумінням управління знаннями як такими. Дійсно, традиційно управління знаннями розглядається як процес створення, збереження, придбання, розподілу і застосування знань на практиці. Іншими словами, знання в даному процесі є об'єктом управління, що в цілому правильно для явного знання. Однак в наведеному визначенні не розглядається роль невідокремлених від людей, неявних знань. В даному випадку знання належать людині, яка своїми активними діями впливає на процес управління знаннями. Тому використання неявних знань в системах інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень безсумнівно є актуальним завданням.

Аналіз особливостей неявних знань показує, що вирішення проблеми їх виділення і формалізації пов'язане зі значними труднощами. Тому дуже важливим є завдання розробки узагальненої моделі виявлення неявних знань. Перед детальним розглядом даного завдання необхідно проаналізувати концепцію навчання з використанням неявних знань, які важко відокремити від людини.

Перетворення явного знання в неявне пов'язано з навчанням на основі відомих стратегій і документованих матеріалів. Слід зазначити, що дана трансформація використовує не тільки явні знання, викладені в навчальних матеріалах, але і неявні знання людей, які навчають і які навчаються. Саме останні допомагають «засвоювати» матеріал, що викладається, вбудовувати його в існуючу в свідомості учня картину світу і, за необхідності, перетворювати його в навички, вміння, досвід. Важливість передачі неявного контексту при вивченні явних знань підтверджується цілою низкою прикладів з практики. Так, подача і засвоєння одного і того ж матеріалу (книги, формули, теореми тощо) залежить від людини, яка навчає, додатково передаючи при навчанні неявну складову знань.

Побудова моделі процесного представлення знань дає можливість узагальнювати вирішення завдань процесного управління. Така модель містить різні можливі варіанти виконання процесу, включає конфігурацію і налаштування під задану предметну область, що дозволяє її багаторазове використання.

У порівнянні з багатьма окремими моделями, що реалізують різні варіанти виконання процесу, інтегральна модель процесного представлення знань значно спрощує налагодження та адаптацію до заданої предметної області. Налаштування такої мо-

делі передбачає виділення базового варіанту з множини варіантів процесу і потім його доповнення подіями і зв'язками з варіантів, що залишилися для виконання процесу. Отримана модель потім перевіряється на несуперечливість і надмірність.

Процес конфігурації моделі процесного представлення знань формує підмножину вирішуваних завдань і вимоги до реалізації процесу відповідно до заданої предметної області. Основні вимоги до процесної моделі визначаються потребою охоплення якомога більшої кількості варіантів реалізації процесу і потім забезпечення її налаштування. Ці вимоги базуються на критеріях побудови референсної моделі [12], і включають в себе функціональні вимоги до процесу, ієрархічну структуру рівнів моделі, множину подібних підпроцесів, множину ресурсів процесу, правила адаптації, конкретну форму реалізації моделі.

Перераховані вимоги визначають логіку поведінки процесу, а також додаткові можливості практичного застосування моделі. Для формалізації моделі запропоновано використання математичного апарату алгебри скінченних предикатів (АСП). Коротко охарактеризуємо апарат АСП і реляційних мереж. АСП створювалася для побудови моделей скінченних дискретних інформаційних об'єктів і процесів логічної природи або, іншими словами, формалізації довільних скінченних відносин. Рівняння АСП вирішуються або програмно, на послідовному комп'ютері або, при необхідності в швидких паралельних обчисленнях, за допомогою програмованого мікропроцесора, що реалізує реляційну мережу. Для цього система рівнянь АСП попередньо бінаризується, тобто перетворюється в еквівалентну систему бінарних предикатів.

Реляційні мережі призначені для формалізації структури інформаційних об'єктів або процесів у вигляді системи бінарних предикатів. Таке представлення дозволяє, задаючи початкові умови в деяких вузлах мережі, обчислювати відповідні цим початковим умовам значення в інших вузлах мережі. При коректних початкових умовах реляційна мережа сформує однозначне рішення, при недостатніх або суперечливих початкових умовах можлива множина допустимих рішень або відсутність рішень.

Ця властивість мережі забезпечує ефективність побудови моделі процесного представлення знань на основі аналізу подій, при цьому отримана узагальнена модель формалізує властивості багатоваріантного процесу.

Процесну модель в загальному вигляді можна представити системою бінарних предикатів :

$$M = \{R_j \mid j = \overline{1, n}\}. \quad (1)$$

Предикати за допомогою своїх таблиць істинності задають можливі в даній моделі значення пар

змінних, що описують існуючі зв'язки між подіями моделі. Щоб проаналізувати структуру багатоваріантної моделі, що розробляється, розглянемо правила її адаптації.

Предметна область – це система взаємопов'язаних об'єктів і явищ. Зв'язки в предметній області між об'єктами можна виразити за допомогою множини предикатів. Адаптація моделі процесу – це її модифікація з урахуванням властивостей предметної області. При адаптації ми беремо з моделі тільки ті предикати, для яких існують відповідні їм об'єкти предметної області. В цьому випадку адаптована модель процесу запишеться так:

$$M^O = \{R_j \mid \forall R_j \in M \exists O_k \in O, k, j = \overline{1, n}\}. \quad (2)$$

Перелічимо основні особливості адаптації процесу.

По-перше, модель процесного представлення знань має два ієрархічні рівні:

- варіанти реалізації процесу, представлені у вигляді структури процесної моделі, які містять повний набір функцій;

- правила вибору можливих альтернативних знань про послідовність виконання дій для експерта.

По-друге, за допомогою зазначених раніше правил виділяються тільки ті знання, які необхідні для вирішення конкретних завдань в конкретному місці. Ознака відбору – зв'язок знань з конкретними об'єктами предметної області.

По-третє, видаляються знання, які пов'язані з вирішенням поточних завдань.

Практичний аспект застосування процесних знань пов'язаний з розробкою адаптерів під конкретну інформаційну систему.

Модель процесного представлення знань зручно розробляти на основі дерева процесів. Таке представлення можна вдосконалити шляхом його формалізації у вигляді ієрархії бінарних предикатів, що дозволяє потім представити його у вигляді реляційної мережі. Побудова такої моделі передбачає використання знань експертів, фахівців з предметної області.

При побудові процесної моделі реальної інформаційної системи отримуємо граф зі структурою, ступінь складності якої не дозволяє експерту аналізувати цей граф. Для наочного представлення моделі процесу необхідно спочатку побудувати його ієрархічну структуру. Крім того, слід зазначити, що ієрархічне представлення і організаційна структура можуть відповідати один одному.

Існує два способи побудови ієрархічної структури процесу. Перший спосіб полягає в розробці зверху-вниз, коли побудова узагальненої моделі процесу починається на самому верхньому рівні. Потім за кілька кроків модель процесу ітеративно деталізується, тобто розбивається на всі більш дріб-

ні фрагменти. Побудова моделі завершується, коли дробління підпроцесів досягає окремих дій процесу. При другому підході процес моделюється знизу-вгору. Окремі операції процесу, а також окремі підпроцеси об'єднуються послідовно за кілька ітерацій.

Ієрархічне представлення процесної моделі подання знань важливе не тільки тому, що зменшує ступінь складності моделі. Воно включає також множину знайдених варіантів реалізації процесу, тобто сценаріїв, що відповідають умовам різних практичних завдань. Ієрархія процесної моделі полегшує її конфігурацію за рахунок видалення надлишкових зв'язків. Для вирішення окремих завдань в ієрархічній моделі можуть бути використані існуючі, налагоджені функціональні модулі.

В цілому процесна модель має наступні характеристики:

- містить множину варіантів виконання процесу, є узагальнюючою, що охоплює для різних предметних областей досвід експертів;

- побудована з використанням наступних базових елементів структури моделі: послідовне виконання, паралельне, цикл, розвилка, які відображають типові зв'язки між подіями процесу.

- дозволяє спростити процес конфігурації за рахунок видалення підпроцесів, що не належать до заданої предметної області.

Оцінювання ієрархічної процесної моделі виконується за допомогою основних і додаткових критеріїв [13]. Основними критеріями є:

- включення в модель множини варіантів реалізації процесу з урахуванням особливостей предметної області;

- можливість інтеграції в модель додаткових атрибутів (наприклад, організаційних взаємозв'язків між виконавцями процесу, структури даних), представлення моделі у вигляді ієрархічної структури рівнів з різним ступенем спільності даних, що спрощує її аналіз;

- включення в модель множини додаткових функцій, що дозволяють більш широко використовувати отриману модель.

Додатковими критеріями оцінки процесної моделі є:

- можливість інтеграції в модель додаткових властивостей процесу: описання множини об'єктів, якими управляє процес, необхідні первинні дані моделі, опис структури інформаційної системи, в межах якої виконується процес;

- можливість різних форм представлення і застосування на практиці узагальненої ієрархічної процесної моделі;

- можливість аналізу будь-яких рівнів моделі;

- спрощення практичного застосування моделі.

Традиційні підходи до аналізу даних і процесів засновані на відомій ієрархічній моделі DIKW «дані-інформація-знання-мудрість (метазнання)» [14]. В основі даної моделі лежать набори даних. Стосовно систем підтримки прийняття рішень, дані набори можуть бути представлені в форматі баз даних і структурованих текстових файлів. Використання моделі DIKW дозволяє обґрунтувати можливість застосування реляційних мереж при виявленні неявних знань в інтелектуальних системах і представити узагальнену структуру такої мережі.

Витяг і формалізація прихованих знань з структурованих масивів даних в задачах інтелектуального аналізу даних ґрунтується на неявному впливі таких знань на сформовану структуру даних. Отримані в результаті вирішення зазначених завдань, яким можна довіряти, моделі процесів, представляються у вигляді графа і, фактично, є явні знання про процеси (або структурованих об'єктах) предметної області. У той же час, моделі ідентичних процесів (об'єктів), отримані в результаті вирішення завдань інтелектуального аналізу масивів даних за різні інтервали часу, в багатьох випадках відрізняються. Такі відмінності в структурі отриманих графів визначаються застосуванням неформалізованих, прихованих знань при виконанні процесів і формуванні вихідних масивів даних. Це і вказує на принципову можливість виділення неявних залежностей при аналізі структурованих об'єктів, отриманих в результаті дослідження масивів даних.

Концепція DIKW спирається в першу чергу на спостереження за природним інтелектом. Ця модель представляє інтерес в силу того, що неявні знання характерні саме для людського інтелекту. Перетворення неявних знань в явну форму дозволяє використовувати їх в інформаційних системах.

Перший рівень моделі DIKW містить дані у вигляді набору символів, які можуть бути використані, проте самі по собі не мають значення. Дані є просто результатом спостережень і не завжди представлені в зручному для використання форматі.

$$\{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \quad (3)$$

$x_i, \quad i = \overline{1, n}$  – множина даних.

На рівні інформації між даними визначаються зв'язки, які задають значення сукупності даних. На даному рівні не визначається, чи буде це значення використовуватися, однак на основі інформації можуть бути зроблені певні висновки.

При предикатному представленні інформації предикат  $I$  задає зв'язки між даними  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  чим і визначає структуру інформації.

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4)$$

Предикат  $I$  при необхідності можна представити у вигляді системи бінарних предикатів

$R_i, i = \overline{1, m}$ , які попарно відображають зв'язки між елементами даних. Число  $m$  заздалегідь не відомо, воно визначається конкретним завданням (поперше, самим предикатом  $I$ , по-друге – процесом бінаризації предиката  $I$ , тому що бінаризація практично завжди вимагає введення додаткових змінних).

Система бінарних предикатів  $I_i, i = \overline{1, m}$ , може бути представлена у вигляді реляційної мережі для паралельної обробки.

На третьому рівні на основі взаємозалежної структурованої інформації визначається і накопичується знання. На даному рівні знання має корисне значення в сенсі його подальшого використання. Однак інтеграція знання з метою створення нового знання на даному рівні не розглядається.

Відповідно до запропонованого підходу, накопичення знань на основі даних та інформації про них можна представити формально як додавання нових предикатів, заданих на множині вихідних даних  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  і створенні системи

$$\{I_i, i = \overline{1, k}\} \quad (5)$$

предикатів, кожен з яких визначає інформацію про дані  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Рівень метазнань об'єднує всі попередні, дозволяючи знаходити принципово нове розуміння з існуючого знання. Формально рівень метазнань можна представити у вигляді предиката другого порядку (предиката від предикатів), заданого на множині  $\{I_i, i = \overline{1, k}\}$ .

$$W(I_1, I_2, \dots, I_k), \quad (6)$$

який пов'язує всю формалізовану інформацію про дані і дозволяє обчислювати нову інформацію.

У ряді робіт поділяють метазнання і мудрість, формуючи ієрархію з 5 рівнів. Однак рівень мудрості притаманний виключно людському інтелекту. Р. Акоф також виділив рівень розуміння як процес створення нового знання з існуючого. Розуміння дозволяє не тільки створювати нові знання, а й застосовувати ці знання. Отже, розуміння спирається і використовує рівні знань, інформації, даних.

Таким чином, з позиції формування знань в інформаційних системах розуміння можна розглядати як спосіб переходу від даних до інформації (розуміння зв'язків), від інформації до знань (розуміння шаблонів) і від знань до метазнань (розуміння принципів). Формально концепція DIKW представлена набором перетворень (3–6).

При представленні моделі (6) у вигляді графа реляційної мережі отримаємо структуру, яку будемо називати реляційною метамережею (рис. 1). Відмінність реляційної метамережі від реляційної мережі в тому, що вузлами реляційної метамережі є реляційні

мережі, а зв'язками (дугами) – предикати другого порядку типу (6).

Формально реляційну метамережу можна отримати шляхом бінаризації предикатної моделі (6), що дозволить представити її у вигляді системи бінарних предикатів, або у вигляді графа мережі.

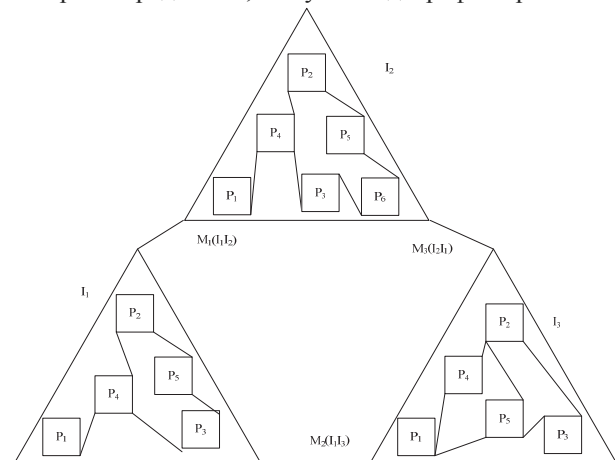


Рис. 1. Граф реляційної метамережі

## Висновки

Отримана метамережа, на перший погляд, формалізує лише перетворення даних в інформацію, потім в знання і в мудрість, і представляє собою побудову таксономії явних, формалізованих, документованих знань. Однак на основі цієї мета мережі можна поставити задачу формалізації підходів до виявлення неявних знань з урахуванням даної таксономії.

Для формалізації виявлення неявних знань необхідно розглянути питання зворотного перетворення через взаємодію складових представленої на рис. 1 моделі. Вихідними даними є зворотний ланцюг «знання – інформація – дані». В цьому випадку предикати  $M_i$  повинні забезпечувати можливість зворотного перетворення знань в інформацію, а потім в дані. Відмінність між формальним поданням знань і інформації при перетворенні через  $M_i$  становить бажаний неявний компонент, що і дозволяє обґрунтувати можливість виділення неявних знань.

Різні види передачі явних знань від людини до людини припускають використання неявного контексту. Виявлення і формалізація таких прихованих шаблонів забезпечує можливість для створення нових знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень.

Таким чином, кожна зі складових запропонованої узагальненої моделі представлення процесу знань дозволяє виділити як явну частину, так і неявні знання, з урахуванням процесу їх взаємодії. Це дозволить побудувати математичну основу побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для забезпечення завдань екологічної безпеки.

## Список літератури

1. Xue P., Zeng W. Policy issues on the control of environmental accident hazards in China and their implementation // *Procedia Environmental Sciences*. – №2. – 2010. – P. 440-445.
2. Yu Q., Jiang J., Yu H. Research on the Emergency Response System of Major Dangerous Chemical Accident on Highway based on the GIS // *Procedia Engineering*. – Vol. 45. – 2012. – P. 716-721.
3. Transboundary water resources management: the role of international watercourse agreements in implementation of the CBD // *CBD Technical Series No. 40*. – 2008. – 48 p.
4. Albuquerque M., Antunes I., Seco M., Roque N., Sanz G. Sequential Gaussian Simulation of Uranium Spatial Distribution – A Transboundary Watershed Case Study // *Procedia Earth and Planetary Science*. – Vol. 8. – 2014. – P. 2-6.
5. Wu D., Xu Y., Zhang S. Will joint regional air pollution control be more cost-effective? An empirical study of China's Beijing–Tianjin–Hebei region // *Journal of Environmental Management*. – Vol. 149. – 2015. – P. 27-36.
6. Shao H., Duan G. Risk Quantitative Calculation and ALOHA Simulation on the Leakage Accident of Natural Gas Power Plant // *Procedia Engineering*. – Vol. 45. – 2012. – P. 352-359.
7. Шерстюк В.Г. Формальная модель гибридной сценарно-прецедентной СППР / В.Г. Шерстюк // *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. – Херсон. – 2004. – №1(13). – С. 134-142.
8. Нечипоренко О.А. Использование технологии Case-Based Reasoning в проектировании программных систем / О.А. Нечипоренко // *Перспективные информационные технологии и информационные среды*. – Таганрог. – 2002. – № 3. – С. 27-32.
9. Шерстюк В.Г. Сценарно-прецедентный поход к управлению динамическими объектами в стесненных навигационных условиях / В.Г.Шерстюк // *Штучний інтелект*. – 2011. – №1. – С. 113-123.
10. Gehrke N. PROCESS MINING / Nick Gehrke, Michael Werner/ WISU - die Zeitschrift für den Wirtschaftsstudenten №7, 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.wiso.uni-hamburg.de/fileadmin/wiso\\_fs\\_wi/Publikationen/Michael/Gehrke\\_und\\_Werner\\_-\\_2013\\_-\\_Process\\_Mining\\_Pre-print\\_Version.pdf](https://www.wiso.uni-hamburg.de/fileadmin/wiso_fs_wi/Publikationen/Michael/Gehrke_und_Werner_-_2013_-_Process_Mining_Pre-print_Version.pdf).
11. Полани М. Личностное знание: на пути к посткритической философии / М. Полани/ – Благовещенск, «Изд-во БГК им. И.А. Бодуэна де Куртенэ», 1998. – С. 82-84.
12. Чалый С.Ф. Разработка референсной модели слабоструктурированных бизнес-процессов / С.Ф. Чалый, А.Ю. Кальницкая // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2006. – Вып. 9 (58). – С.133-137.
13. Уварова Т.В. Модель процесно-орієнтованої оцінки ефективності впровадження інформаційних технологій для поліпшення управління адміністративно-господарчими процесами / Т.В. Уварова, О.С. Левищенко, О.В. Поривай, А.А. Рибидайло, С.В. Бобров // *Зб. наук. пр. Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ ім. Черняхівського*, 2014. – № 1(50). – С. 96-103.
14. Ackoff R.L. From Data to Wisdom // *Journal of Applies Systems Analysis*. – Volume 16. – 1989. – P. 3-9.

Надійшла до редколегії 15.03.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Н.В. Шаронова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССНЫХ ЗНАНИЙ

В.В. Ткаченко

В статье рассмотрены вопросы комплексной оценки экологического риска загрязнения атмосферы как задача принятия решений в условиях неопределенности и неполноты информации. Предложен подход к построению обобщенной модели управления экологической безопасностью на основе процессной модели представления знаний и алгебро-предикатных структур для формализации модели. Предложенный подход позволяет выявлять неявные знания и адаптировать их к решению актуальных задач управления. Рассмотрены принципы построения реляционной сети накопления знаний. Приведены преимущества модели процессных знаний для решения задач управления экологической безопасностью.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, информационная система, процессные знания, модель, принятие решений, алгебра предикатов.

## ECOLOGICAL RISK DESCRIPTION BASED ON BASIC MODEL OF PROCESS KNOWLEDGE

V.V. Tkachenko

The questions of complex assessment of air pollution risk were considered as a problem of decision making under uncertainty and incomplete information. An approach to building a combined model of ecological safety management based on process model of knowledge representation and algebraic-predicate structures to formalize the model was offered. The approach can detect implicit knowledge and adapt them for solving urgent management problems. Principles of relation networks construction for knowledge accumulation were considered. Benefits of the process knowledge model for solving problems of environmental safety were given.

**Keywords:** environmental safety, information system, process knowledge, model, decision-making, algebra of predicates.