

УДК 681.324

**Бондаренко В. Є.**, канд. техн. наук, доц. (Тел.: +380 (99) 520 62 19. E-mail: victorbondarenko@ukr.net)  
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

## ІНДУКТИВНИЙ УМОВИВІД ДЛЯ СИСТЕМ ОБРОБКИ ЗНАНЬ

**Бондаренко В.Є. Індуктивний умовивід для систем обробки знань.** У роботі розробляється алгоритм неповного індуктивного умовиводу, призначений для реалізації в системах обробки знань для поповнення бази знань новим знаннями, які являються узагальненням знань, існуючих в базі знань. Такий алгоритм, аналізуючи й узагальнюючи дані, які обробляються в процесі кожної консультації, що дається експертною системою, знаходить нові закономірності і, відповідно до них, формує нові правила бази знань. Розглядаються два варіанти практичної реалізації алгоритму неповного індуктивного умовиводу.

**Ключові слова:** індуктивний умовивід, задача булевого програмування, база знань

**Бондаренко В.Е. Индуктивное умозаключение для систем обработки знаний.** В работе разрабатывается алгоритм неполного индуктивного умозаключения, предназначенный для реализации в системах обработки знаний для пополнения базы знаний новым знаниями, которые являются обобщением знаний, существующих в базе знаний. Такой алгоритм, анализируя и обобщая данные, обрабатываемые в процессе каждой консультации, которая дается экспертной системой, находит новые закономерности и, в соответствии с ними, формирует новые правила базы знаний. Рассматривается два варианта практической реализации алгоритма неполного индуктивного умозаключения.

**Ключевые слова:** индуктивное умозаключение, задача булевого программирования, база знаний

**Вступ.** Питання одержання нових знань із наявних почали розроблятися задовго до необхідності проектування систем обробки знань. Так, ряд важливих законів умовиводів були сформульовані ще Аристотелем [1]. Однак велика частина існуючих робіт з логіки вивчають дедуктивний умовивід, незважаючи на те, що поява нових ідей і узагальнень зв'язана з умовиводами індуктивного типу. Такі умовиводи описані в [2] і докладно вивчалися Л. Рутковським (Рутковский Л. Основные типы умозаключений). Але виклад його роботи носить описовий характер, що не дозволяє безпосередньо використовувати її результати в процесі проектування систем обробки знань.

У дедуктивних умовиводах думка рухалася від загального положення до одиничного і окремого. Індуктивні ж висновки виражають рух думки від одиничного і окремого до загального. Залежно від повноти і закінченості емпіричного дослідження розрізняють два види індуктивних висновків: повну індукцію і неповну індукцію. Повна індукція застосовується лише в тих випадках, коли дослідник має справу із замкнутими класами, число елементів яких є легко осяжним.

У неповній індукції загальний вивід роблять на підставі знання не про всі предмети класу, а про деяку їх частину [3]. Слід підкреслити, що для цієї індукції характерне ослаблене логічне слідування – дійсні посилки забезпечують здобуття не достовірного, а лише проблематичного висновку. Проте далі зазначимо, що істотний вплив на характер логічного слідування у виводах неповної індукції надає стільки кількісний, скільки якісний підхід – спосіб відбору вихідного емпіричного матеріалу. У зв'язку з цим, розрізняють два види неповної індукції: популярну індукцію і наукову.

Популярною індукцією називають узагальнення, в якому через перелік встановлюють повторюваність ознаки в деяких предметах класу, на підставі чого роблять висновок про приналежність ознаки всьому класу.

До методів наукової індукції відносяться: метод схожості, метод відмінності, сполучений метод схожості і відмінності, метод супутніх змін, метод залишків [3...5].

Ці методи застосовуються при дослідженні причинних, функціональних і інших видів умовної залежності між явищами. Кажучи про метод схожості, слід відзначити, що він найчастіше застосовується лише на перших рівнях дослідження для отримання висновків про причини досліджуваних явищ.

Метод відмінності, хоча і має ряд переваг в порівнянні з методом схожості, проте висновки за цим методом теж мають вірогідний характер. Застосування сполученого методу схожості і

відмінності підвищує вірогідність висновку, однак з'єднання цих двох методів на практиці важко здійсненне. Тут необхідно сказати, що даний метод не можна змішувати з послідовною реалізацією методу схожості і методу відмінності.

Метод супутніх змін застосовується в тих випадках, коли існує тісний внутрішній зв'язок причини і наслідку. Метод залишків є різновид методу відмінності. Слід підкреслити, що всі ці методи дають вірогідне знання.

Треба відзначити, що способи логічного переходу від відомого до нового знання не обмежуються індукцією і дедукцією. Поряд з ними можливий і третій спосіб – логічний перехід від відомого знання про окремий предмет або їх групу до нового знання про інший окремий предмет або іншу їх групу [6]. Висновок, отриманий в такий спосіб, називається висновком за аналогією. Знання, що отримані за допомогою аналогії, в одних випадках мають вірогідний характер, а в других – достовірний.

Різні підходи до використання індуктивного умовиводу у інтелектуальних системах представлено у [7], де, на жаль, детально не досліджуються взаємозв'язки між поняттями та їх властивостями, що робить представлені підходи досить схематичними.

У основі індуктивних виводів лежить правило індуктивного узагальнення [8]

$$\frac{A, B \Rightarrow F \in A}{B}, \text{ де } A - \text{множина відомих фактів, } B - \text{поняття (гіпотеза).}$$

Сенс цього правила полягає в наступному. Нехай є множина фактів  $A$ . Якщо ввести деяку гіпотезу  $B$  і показати, що з  $B$  виводимо будь-який факт  $F \in A$ , то гіпотеза  $B$  вірна.

**Основні положення неповного індуктивного умовиводу.** У зв'язку з вищевикладеним, у роботі описується формалізація процесу неповного індуктивного умовиводу, а також розробляється алгоритм [9] неповного індуктивного виводу, призначений для реалізації в системах обробки знань, що базуються на концепції семантичних структур [10]. Щоб зробити процес індуктивного умовиводу більш якісним, спочатку детально розглянемо взаємозв'язки між поняттями та їх властивостями, зробивши ряд визначень, на основі яких, сформулюємо необхідні аксіоми і теореми. Введемо такі визначення.

**Визначення 1.** Якщо деяке поняття  $A$  має властивість  $B$ , то цей факт будемо позначати як  $A(B)$ . Якщо поняття  $A$  має множину властивостей, то, в залежності від способів завдання цієї множини, позначення будуть мати вид:

- 1)  $A(\{k, l, m\})$  множина властивостей  $\{k, l, m\}$  задається перерахуванням;
- 2)  $A(\{x \mid P(x)\})$  множина властивостей задається за допомогою предикату  $P$ ;
- 3)  $A(M)$  множина властивостей  $M$  задається способом, що не має значення для даного розгляду.

Приведемо приклади, що ілюструють описані вище позначення.

Яблуко (  $\{ \text{сферична форма, вага до 500 гр.} \}$  ); людина (  $\{ x \mid x - \text{властивість, що відбиває духовні якості} \}$  ).

**Визначення 2.** Якщо властивість  $A$  властива деякому поняттю  $B$ , то цей факт будемо позначати як  $A[B]$ .

Розглянемо ряд типових відношень між поняттями з властивостями, для чого введемо наступні визначення.

**Визначення 3.** Два поняття (властивості) тотожні, якщо їхні значення збігаються.

**Визначення 4.** Два поняття (властивості) аналогічні, якщо їхні значення збігаються лише в деяких рисах.

**Визначення 5.** Властивість визначимо як характерну для деякого поняття, якщо вона стійко повторюється для різних його екземплярів.

Мірою характеристики властивості для деякого поняття будемо вважати відношення кількості екземплярів поняття, яким притаманна розглянута властивість, до всіх проаналізованих екземплярів поняття.

**Визначення 6.** Властивість будемо називати випадковою для поняття, якщо вона може мати або не мати місце для різних екземплярів поняття при однакових умовах їх вивчення.

Властивості понять можуть бути як взаємозалежні, так і незалежні. Залежність між властивостями понять будемо розрізняти двох видів: причинну і логічну.

**Визначення 7.** Причинною залежністю властивостей будемо називати залежність, у якій одна властивість є наслідком іншої, а інша являє собою причину першої.

**Визначення 8.** Логічною залежністю між властивостями будемо називати залежність, обумовлену логічними законами зв'язку властивостей.

Для вивчення особливостей взаємозв'язку властивостей необхідно оперувати не тільки поняттями але і класами.

**Визначення 9.** Класом понять будемо називати їх сукупність, що має найменування і побудовану за визначеними законами.

**Визначення 10.** Залежність властивостей будемо позначати так  $P[A] \rightarrow S[A]$ .

Це визначення означає, що властивість  $P$  поняття  $A$  тягне за собою властивість  $S$  цього ж поняття.

**Розглянемо деякі закономірності і залежності властивостей, які сформулюємо у вигляді таких аксіом.**

**Аксіома 1.**  $(R \rightarrow T) \rightarrow \forall(B [T]) \exists(A [R]) (A [R] \rightarrow B [T])$ . Якщо поняття  $R$  тягне поняття  $T$ , то для кожної властивості  $B$  поняття  $T$  існує властивість  $A$  поняття  $R$ , що тягне цю властивість.

**Аксіома 2.**  $(A \rightarrow B) \& (B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow C)$ . Якщо властивість  $A$  тягне властивість  $B$ , а властивість  $B$  тягне властивість  $C$ , то властивість  $A$  тягне властивість  $C$ .

**Аксіома 3.**  $P[M] \leftrightarrow \forall(A \in M) P[A]$ . Якщо властивість властива всьому класу понять, то вона властива і кожному його елементу. Вірно і зворотне твердження.

**Аксіома 4.**  $\forall(P) P[A] \rightarrow P[A]$ . Кожна властивість тягне саму себе.

**Аксіома 5.**  $\forall(P) P[A] \rightarrow Q[A]$ .

Кожна властивість тягне деяку іншу властивість.

**Аксіома 6.**  $P = \neg\neg P$ . Відсутність відсутності властивості рівнозначно її наявності.

**Аксіома 7.**  $\forall(A, B) (A \rightarrow B) \rightarrow \exists(R)[A \rightarrow R \& R \rightarrow B]$ . Якщо властивість  $A$  тягне властивість  $B$ , то завжди знайдеться деяка властивість  $R$ , така, що  $A$  тягне  $R$  і  $R$  тягне  $B$ . Інтуїтивне розуміння цієї аксіоми базується на тому, що якщо  $A \rightarrow B$ , то хоча б принципово завжди можна пояснити факт такої залежності, але це пояснення являє собою наявність деякої властивості (ланцюжка властивостей), що виходить з властивості  $A$  і яка, з очевидністю, тягне властивість  $B$ .

**Аксіома 8.**  $(A \rightarrow B) \& (B \rightarrow A) \rightarrow (\neg A \rightarrow \neg B) \& (\neg B \rightarrow \neg A)$ . Якщо властивість  $A$  тягне властивість  $B$  і навпаки, то відсутність властивості  $A$  тягне відсутність властивості  $B$  і навпаки.

**Аксіома 9.**  $A(B) \& C(E) \& A = C \rightarrow B = E$ . Властивості тотожних понять тотожні.

**Аксиома 10.**  $A (\{B - \text{випадкова властивість}\} \& A = C \rightarrow C(B))$ . Якщо поняття  $A$  має множину випадкових властивостей  $B$  і є аналогічним або тотожним поняттю  $C$ , то не обов'язково щоб поняття  $C$  мало властивості  $B$ .

**Приведемо деякі корисні теореми** про властивості понять.

**Теорема 1.** Якщо властивість  $P$  властива поняттю  $A$  тягне властивість  $S$  для цього ж поняття, то для будь-якого класу понять  $M$ , що містить  $A$ , наявність у нього властивості  $P$  тягне і властивість  $S$  для всього класу. У формалізованому вигляді теорема має вид:

$$(P[A] \rightarrow S[A]) \rightarrow \forall(M | A \in M) (P[M] \rightarrow S[M]).$$

*Доказ.* Оскільки  $P[M]$ , то слідуючи аксіомі 3.,  $\forall(A \in M) P[A]$ , але з умови теореми  $P[A] \rightarrow S[A]$ , тому за аксіомою 3.,  $\forall(A \in M) S[A]$ . Звідкіля, у силу зворотного твердження тієї ж аксіомі 3  $S[M]$ . Теорема доведена.

**Теорема 2.** Якщо для кожного елемента класу понять  $M$  існує властивість  $R$ , яка тягне властивість  $S$ , то властивість  $S$  притаманна всьому класу  $M$ .

*Доказ.* Впливає з аксіоми 3.

**Теорема 3.** Якщо властивість  $P$  властива всьому класу понять  $M$  і тягне за собою властивість  $S$ , то  $S$  властива і більш вузькому класу  $R \subset M$ .

*Доказ.* Якщо  $P[M]$  і  $P \rightarrow S$ , то за теоремою 2  $S[M]$ , але тоді з аксіоми 3,  $\forall(A \in M) P[A]$ . Оскільки  $R \subset M$ , то  $\exists(A \in M) (A \in R)$ , але для цих понять також має місце  $S[A]$ . Звідкіля, на підставі аксіоми 3,  $S[R]$ , що і доводить теорему.

**Теорема 4.** Для будь-якої властивості  $A$  завжди існує властивість  $B$  така, що  $A \rightarrow B$  і  $B \rightarrow A$ .

*Доказ.* Впливає з аксіоми 7.

**Теорема 5.** Якщо для елемента  $m$  класу понять  $M$  властивість  $P$  не має місця, то існує підмножина властивостей  $\chi \subset \chi_m$ , така що множина  $M$ , визначена властивістю  $\chi_m \cup \neg\chi$  буде мати властивість  $P$ .

*Доказ.* Відповідно до теореми 4  $\exists(\chi \subset \chi_m) (\neg P \rightarrow \chi \& \chi \rightarrow \neg P)$ , а виходячи з аксіоми 8 маємо  $\neg P \rightarrow \chi \& \chi \rightarrow \neg P \rightarrow \neg\neg P \rightarrow \neg\chi \& \neg\chi \rightarrow \neg\neg P$ . Скориставшись аксіомою 6, отримаємо  $P \rightarrow \neg\chi \& \neg\chi \rightarrow P$ . Оскільки  $\neg\chi \rightarrow P$ , то сформувавши  $M$  за допомогою властивостей  $\chi_m \cup \neg\chi$ , отримаємо, що усі елементи  $M$  не мають властивість  $\chi$  і оскільки  $\neg\chi \rightarrow P$ , то на основі теореми 2, всі елементи множини  $M$  будуть мати властивість  $P$ , що і доводить теорему.

**Узагальнення знань на семантичних структурах.** Існуючі експертні системи вимагають залучення експертів для проектування баз знань. У зв'язку з психофізіологічними особливостями людини, таке проектування може зустрічати технічні і психологічні труднощі, тому бажано використовувати алгоритми, що дозволяють експертній системі конструювати правила бази знань самостійно, без допомоги експертів. Такий алгоритм, аналізуючи й узагальнюючи дані, які оброблюються в процесі кожної консультації, що дається експертною системою, знаходить нові закономірності і, відповідно до них, формує нові правила бази знань.

Розглянуті вище аксіоми і теореми про властивості понять дозволяють на підставі знань одних властивостей понять зв'язувати з цими поняттями інші властивості.

Вивчивши властивості понять, їхній взаємозв'язок, а також форми представлення знань, зупинимося докладніше на механізмі індуктивного умовиводу, під яким будемо розуміти засоби виявлення властивостей класу понять на основі властивостей елементів цього класу. Метою такого умовиводу є побудова узагальнених знань, що описують клас понять.

Говорячи формальною мовою, розглянута задача індуктивного умовиводу має вид:

**Задача 1.** Нехай  $M \in K$  – поняття приналежне класу  $K$ , яке має властивість  $P[M]$ . Необхідно виконати обґрунтований переніс властивості  $P$  на весь клас  $K$ , тобто  $M \in K \& P[M] \rightarrow P[K]$ .

Зрозуміло, що такий переніс можна виконати далеко не завжди. Метод звуження класу  $K$ , для якого такий перенос припустимий розглядається в нижченаведеному алгоритмі. Приведений алгоритм носить лише принциповий характер і для його реалізації можуть використовуватися різні методи, які залежать від характеру знань, що обробляються. Деякі з таких методів будуть розглянуті далі.

**Алгоритм 1.**

1. Задається клас понять  $K$  і вектор його властивостей  $\chi_k$ .
2. Вводиться поняття  $M$  і вектор його властивостей  $\chi_m$ .
3. Виконується звуження класу понять  $K$  на основі нового вектора властивостей  $\chi_k \cup \chi_m$ :  

$$K = \{ M \in K \mid \chi_k \cup \chi_m \}$$
4. Виконується перенесення властивості  $P$  із поняття  $M$  на весь клас  $K$ , тобто  

$$M \in K \& P[M] \rightarrow P[K].$$
5. Проводиться модифікація вектора властивостей класу  $K$   $\chi_k = \chi_k \cup \chi_m$
6. Перехід до п. 2.

Алгоритм 1 може бути реалізований за допомогою різних підходів, один з яких наведено нижче. Він заснований на формулюванні проблеми у вигляді наступної задачі булевого програмування.

**Задача 2.** Нехай  $M$  множина понять, а  $M_1, M_2, \dots, M_k \subset M$  – набір його підмножин, які являють собою різні звуження множини  $M$ . Необхідно знайти таке  $M_L$ , щоб поняття  $A_i$ , яке має властивість  $P[A_i]$  належало до цієї підмножини  $A_i \in M_L$  і переніс властивості  $P$  на всю підмножину  $M_L$  був би найбільш обґрунтований.

Для рішення задачі 2, введемо змінну  $y_{ij} = \begin{cases} 1 - \text{якщо } A_i \in M_j \\ 0 - \text{якщо } A_i \notin M_j \end{cases}$ , де  $i=1,2,\dots,n$ ;  $n$  – кількість елементів (потужність) множини  $M$ ;  $j=1,2,\dots,k$ ;  $k$  – кількість розглянутих підмножин множини  $M$ .

Значення  $y_{ij}$  обирають таким чином, щоб максимізувати таку цільову функцію:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k c_{ij} y_{ij} \rightarrow \max,$$

де  $c_{ij} \in [0,1]$  – коефіцієнт можливості перенесення властивості  $P$   $i$ -го поняття на  $j$ -у підмножину множини  $M$ .  $c_{ij} = 0$ , якщо таке перенесення зробити неможливо і  $c_{ij} = 1$ , якщо у перенесенні властивості  $P$  існує абсолютна упевненість. Величини  $c_{ij}$  визначають виходячи з аналізу наявних знань властивостей понять, що розглядаються на основі наведених теорем і аксіом, а також на основі експертних оцінок.

Оскільки кожне поняття  $A_i \in M$  повинно бути хоча б в одній підмножині  $M_j$ , але може бути і у всіх підмножинах, то цей факт може бути сформульований у вигляді такого обмеження:

$$1 \leq \sum_{j=1}^k y_{ij} \leq k, \text{ де } i=1,2,\dots,n.$$

Друге обмеження означає, що в одній підмножині  $M_j$  може знаходитися не більше ніж  $n$

понять: 
$$\sum_{i=1}^n y_{ij} \leq n, \text{ де } j=1,2,\dots,k.$$

Розбиття множини  $M$  на підмножини  $M_i$  може бути виконане таким чином, що завідома деякі поняття  $A_i \notin M_j$ . В цьому випадку на такі змінні задачі 2, які відповідають цим  $i$ -му поняттю і  $j$ -ій підмножині необхідно накласти додаткові обмеження виду:  $y_{ij} = 0$ .

Друга реалізація алгоритму 1 – статистичний алгоритм формування правил управліннь семантичної структури [6]. Вхідні дані системи представляються об'єктами семантичної структури реалізовані реляційною моделлю, яка побудована в такий спосіб. Нехай  $\{A_1, A_2, \dots, A_i\}$  множина імен атрибутів, що визначають назви параметрів, які вимірюються. Кожному імені атрибута  $A_i$ , де  $i=1,2,\dots,m$ , ( $m$  – потужність множини імен атрибутів) відповідає домен

$D_i$ , що представляє собою множину вимірюваних значень цього параметра. Реляційна модель  $R$  визначається як  $R \subset \times D_i \quad \{d_1, d_2, \dots, d_m \in R \quad d_k \in D_i\}$  – кортеж, тобто набір значень, що спостерігаються для усіх параметрів в один момент вимірів.

Правила управління семантичної структури задаються у виді: ЯКЦО <передумова 1> I <передумова 2> I...<передумова p> ТО <висновок>, КО=< коефіцієнт обґрунтованості >.

Після висновку кожного правила впливає коефіцієнт обґрунтованості (КО), що показує рівень довіри до цього правила. Довіра абсолютна, якщо КО=1. Довіра відсутня, якщо КО=0.

Конструкції < передумова > і < висновок > являють собою предикати (факти). Факти є формулами, що містять імена атрибутів. Передбачається, що кожний факт містить тільки одне ім'я атрибута, і ім'я атрибута  $A_k$  міститься у висновку нового правила.

Спочатку знаходяться усі імена атрибутів, що корельовані з іменем атрибута з висновку правила. Для визначення такої кореляції використовуються домени  $D_i$ , що відповідають цим іменам атрибутів, і обчислюються вибіркові коефіцієнти кореляції  $r_{ki}$  між  $D_k$  і кожним із доменів  $D_i \mid_{i \neq k}$ ,  $i=1,2,\dots,m$ , для  $i \neq k$ .

$$r_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{n \sigma_x \sigma_y}; \quad \sigma_x = \sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}; \quad \sigma_y = \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2},$$

де  $x \in D_{i \neq k}$ ,  $y \in D_k$  – значення кожного кортежу;  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – математичне очікування  $D_i$  і  $D_k$  відповідно;  $n$  – потужність множини  $D_i$  або  $D_k$ ;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  – середнє квадратичне відхилення  $x$  і  $y$ ;  $\overline{x^2}$ ,  $\overline{y^2}$  – математичне очікування  $x^2$ ,  $y^2$ , відповідно.

Коефіцієнт кореляції генеральної сукупності  $R \neq 0$ , якщо  $T > t_{kp}$ , де

$$T = \frac{r_{ki} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{ki}^2}}.$$

Критичні точки  $t_{kp}$  знаходяться в таблиці розподілу Ст'юдента для значень числа ступенів свободи  $k=n-2$  і рівня значимості  $\alpha$  ( можна прийняти  $\alpha=0,05$ ).

Після побудови множини  $W = \{ D_i \mid R(D_i \neq k, D_k) \neq 0 \}$ , необхідно знайти підмножину  $P \subset W$ ,  $P = \{ D_i \in W \mid R(D_i, D_j) = 0 \ \& \ i \neq j \}$ , що містить тільки незалежні між собою домени.

Імена атрибутів  $A_i$ , що відповідають  $D_i \in P$ , будуть використовуватися у фактах-передумовах нового правила. Припустимо наступну структуру фактів: <ім'я атрибута > < відношення < значення >, де < відношення > :=  $\geq$  |  $\leq$  |  $=$ . Необхідно побудувати для кожного імені атрибута  $A_i$ , що відповідає  $D_i \in P$ , такі факти:  $(A_j \leq \max d_j \in D_i)$ ,  $(A_j \geq \min d_j \in D_i)$ , (якщо  $\forall d_j \in D_i = \text{const}$ , то  $A_j = \text{const}$ ).

Подібно фактам-передумовам, будуються факти-висновки з ім'ям атрибута  $A_k$ , що відповідає домену  $D_k$ . Далі формується множина правил, що використовують усі побудовані вище варіанти фактів-передумов і фактів-висновків.

Кожне правило має коефіцієнт обґрунтованості 1, але надалі він буде корегуватися після кожного випадку використання бази знань відповідно до формули  $k=m/n$ , де  $m$  – кількість випадків використання бази знань, коли правило справедливе,  $n$  – кількість усіх випадків використання бази знань. Таким чином, правила, що систематично підтверджують свою неістинність, будуть мати коефіцієнт обґрунтованості, що прямує до 0 і можуть виключатися з бази знань.

**Висновки.** Знання про моделі, зокрема, комп'ютерні мережі і деструктивні впливи на них, можна отримувати не тільки з зовні моделі, але і на основі наявних знань, шляхом побудови умовиводів. Особливо значний інтерес представляє можливість отримання нових узагальнених знань, тому у роботі вивчаються механізми побудови індуктивних умовиводів, в процесі яких з наявних окремих знань будуються загальні знання.

В результаті проведених досліджень, була строго сформульована задача побудови індуктивного умовиводу, а також запропонований загальний алгоритм його отримання.

В рамках розробленого алгоритму, розглянута задача узагальнення знань. Рішення задачі засновано на знанні взаємозв'язку властивостей понять, тому в роботі досліджувалися

принципи указанного взаємозв'язку, що дають змогу з наявності одних властивостей понять робити висновки про наявність у них інших властивостей.

Проведені дослідження показали, що запропонований апарат може успішно використовуватися для формування узагальнених знань в процесі побудови моделей живучості комп'ютерних мереж.

Моделювання складних деструктивних явищ в комп'ютерних мережах вимагає механізму ефективного виводу нових знань із наявних фактів на основі баз знань. У зв'язку з цим, у роботі був розроблений:

1. Апарат що дозволяє виконувати індуктивні умовиводи на семантичних структурах, завдяки чому з фактів, які відносяться до елементів системи, що моделюється і циркулюють у семантичній структурі, можна виводити нові факти на основі логічного виводу і бази знань вбудованої в семантичну структуру.

2. Часто, через складність системи, що моделюється, цілком сформувати базу знань для експерта досить важко. У зв'язку з цим, у роботі були розроблені два нові алгоритми індуктивного виводу, що дозволяють, використовуючи результати роботи моделі, виконувати узагальнення знань і формувати нові знання, включаючи їх у базу знань.

Перший алгоритм заснований на вирішенні оптимізаційної задачі булевого програмування, а другий – базується на основі статистичного аналізу.

3. Апробація розглянутих механізмів на прикладах широкого класу різних моделей конфліктних ситуацій, що описують комп'ютерні мережі з деструктивними впливами на них, показали ефективну можливість використання механізмів виводу для оцінки складних ситуацій і вироблення рекомендацій щодо необхідних заходів, які мають бути проведені у цих ситуаціях.

#### **Література**

1. Аристотель. Метафизика / Аристотель. – Москва : Институт философии, теологии и истории св. Фомы, 2006. – 232 с.
2. Каринский М. И. Избранные труды русских логиков 19 века / М. И. Каринский. Москва : Изд-во Академии Наук СССР, 1956. – 402 с.
3. Войшвилло Е. К. Логика: учеб. для студ. высш. учеб. заведений/ Е. К. Войшвилло, М. Г. Дегтярев. – Москва : Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2001. - 528 с.
4. Демидов И. В. Логика / И. В. Демидов. – Москва : Юриспруденция, 2000. – 208 с.
5. Рузавин Г. И. Логика и аргументация : учебн. пособие для вузов / Г. И. Рузавин. – Москва: Культура и спорт, ЮНИТИ, 1997. – 351 с.
6. Уемов А. И. Аналогия в практике научного исследования/ А. И. Уемов. – Москва : Наука, 1970. - 264 с.
7. Вагин В. Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В. Н. Вагин, Е. Ю. Головина, А. А. Загорянская, М. В. Фомина ; под ред. В. Н. Вагина, Д. А. Поспелова. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 704 с.
8. Павлов С. Н. Системы искусственного интеллекта : учеб. пособие ; в 2-х частях. Часть 1 / С. Н. Павлов. – Томск: Эль Контент, 2011. – Ч.1. – 176 с.
9. Бондаренко В. Е. Индуктивные умозаключения в экспертных системах / В. Е. Бондаренко // Всесоюзная конференция «Диалог - Человек – ЭВМ», г. Свердловск, 4-9 сентября 1989, ч.1.). – Свердловск, 1989. – С. 28-30.
10. Бондаренко В. Є. Концепція семантичних структур для моделювання і аналізу живучості комп'ютерних мереж/ В. Є. Бондаренко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №3. – С. 70-74.

Дата надходження в редакцію: 02.02.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л. Н. Беркман