

УДК 004.891.3+681.5

*А.І. ПОВОРОЗНЮК*, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",  
*Є.С. ХАРЧЕНКО*, магістр, НТУ "ХПІ"

## **ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ**

Розглянуто особливості медичної діагностики, що впливають на якість прийняття рішень в системах підтримки прийняття рішень. Формалізовано експертну інформацію щодо заданих множин діагнозів та їх симптомів. Розроблено метод формування діагностичного висновку при проведенні терапевтичних обстежень на основі нечіткої логіки. Іл.: 4. Табл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** медична діагностика, нечітка логіка, система підтримки прийняття рішень.

**Постановка проблеми.** Медицина являє собою слабо структуровану область знань [1], що створює серйозні труднощі при побудові систем прийняття рішень. В той же час, в практичній діяльності лікар вибудовує послідовність висновків, що спираються на уявлення про зв'язок спостережуваних у хворого ознак з певним діагнозом.

Діагностичний процес в медицині, побудований на міркуваннях про ознаки і їх поєднання, що обґрунтовують або відкидають певну діагностичну гіпотезу [2], фактично спирається на логіку аргументації, що включає і відносини порядку на множині аргументів. Певний паралелізм у досягненні мети за допомогою міркування існує у лікарів і в інтелектуальних системах.

Особливість діагностичних проблемних ситуацій полягає в тому, що прийняття рішень в цьому випадку характеризується наявністю людського фактора на всіх рівнях і етапах процесу управління [3]. Крім того, в діагностичних проблемних ситуаціях об'єкт управління є джерелом істотно неповної, неточної, нечіткої інформації і протиріч (наприклад, прилад є джерелом неточності, пацієнт в клініці – джерелом нечіткості, неточності та неповноти).

Таким чином, актуальною є проблема формалізації задачі медичної діагностики на основі аналізу різномірної діагностичної інформації, обґрунтування вибору математичного апарату, розробки методу формування діагностичних висновків та його адаптація до заданої предметної галузі медицини з метою побудови системи підтримки прийняття рішень в медицині.

**Аналіз літератури.** Як показує огляд літературних джерел,

діагностичні проблемні ситуації мають кілька аспектів, що вимагають наукового аналізу та дослідження. По-перше, діагностика включає класифікацію неповністю певних станів [4]. По-друге, діагностика має кілька рівнів експертизи з непостійним складом групи експертів, які здійснюють вилучення інформації, виявлення закономірностей і протиріч, висування гіпотез, перевірку гіпотез та ін. [5]. По-третє, прийняття рішень має двоетапну організацію: інструментальними методами верифікуються ознаки, що підтверджують, або заперечують гіпотези; особа, яка приймає рішення, будує або використовує готові логічні правила, приймає робочу гіпотезу (остаточний діагноз) і здійснює потім вибір цілей і шляхів подолання сформованої проблемної ситуації [6].

При виникненні діагностичної проблемної ситуації недостатньо вивченими залишаються також питання дослідження і аналізу ситуацій інструментальними засобами при нечіткої заданій інформації [7], де необхідно узгодити оцінки, одержувані від експертів, а також класифікувати діагностичні проблемні ситуації по множині критеріїв.

Медичний діагноз, як правило, включає в себе ретельне обстеження пацієнта, щоб перевірити наявність і силу деяких особливостей, пов'язаних з підозрою на хворобу, щоб прийняти рішення – має пацієнт цю хворобу чи ні [8]. Симптом, такий як наприклад нежить, може проявлятися сильніше у одного пацієнта, а може бути помірним або навіть дуже непомітним для іншого. Досвід лікаря говорить йому, як об'єднати множину симптомів (ознаки і їх інтенсивність), щоб встановити правильний діагноз.

З врахуванням вище сказаного, в якості математичного апарату аналізу експертної інформації та результатів інструментальних досліджень пацієнтів вибрано нечітку логіку [9, 10], яка успішно застосовується в медичних діагностичних системах [9]. Але при її застосуванні в конкретній предметній області медицини (терапевтичні обстеження) необхідно формалізувати експертну інформацію щодо заданих множин діагнозів та їх симптомів, узгодити результати інструментальних досліджень пацієнтів з експертними оцінками та розробити методику формування діагностичного висновку.

**Мета статті.** Формалізація задачі медичної діагностики, розробка методики формування діагностичного висновку при проведенні терапевтичних обстежень на основі нечіткої логіки.

**Формалізація задачі медичної діагностики та побудова діагностичного висновку на основі нечіткої логіки.** Розглянемо множину хвороб  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  а також визначимо множину симптомів  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  цих захворювань. Зазвичай маємо  $n \gg m$ .

Для опису симптомів пацієнта, буде виконуватися перевірка симптомів в наборі  $F$ , після чого кожній змінній буде присвоєно нечітке значення. Набір нечітких значень представлений наступною множиною: дуже низьке, низьке, помірне, високе, дуже високе.

Звіривши симптоми пацієнта з усіма  $n$  елементами множини симптомів  $F$  і призначивши належне нечітке значення для кожного компонента, множина симптомів пацієнта  $S$  буде мати наступний вигляд:

$$S = \{ \langle f_1, v_1 \rangle, \langle f_2, v_2 \rangle, \dots, \langle f_n, v_n \rangle \},$$

де  $v_i$  – нечітке значення, присвоєне симптому  $f_i$  при огляді пацієнта,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Досвід лікаря-експерта щодо набору розглянутих захворювань  $D$  зберігається в наборі нечітких таблиць, кожна з яких задає профіль для одного захворювання. Ми розглянемо три нечітких значення "Так", "Може бути" і "Ні", як показано на рис. 1, для виявлення наявності захворювання. Записи в таблицях профілю захворювання будуть формуватися з цих лінгвістичних змінних [9].

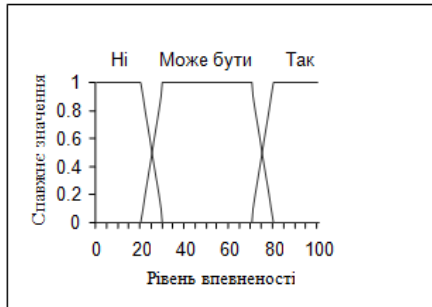


Рис. 1. Нечіткі значення для встановлення діагнозу

Для кожного  $i$ -го захворювання формується множина  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k_i$ ) з  $k_i \leq n$  відповідних симптомів, що є підмножиною множини  $F$ . Завдання експерта – встановити відповідні значення для кожного елемента в таблиці профілів захворювань на підставі його досвіду. Це має бути зроблено для кожного захворювання в наборі  $D$ . Табл. 1 ілюструє фрагмент профілю для поширеної інфекції верхніх дихальних шляхів, заснований на експертних консультаціях лікаря.

Розглянемо процес діагностування пацієнта та отримання множини його симптомів  $S$ . Приклад такої множини приведений в табл. 2, яка показує нечіткі значення для всіх симптомів у загальній множині  $F$ .

Таблиця 1

## Профіль для захворювання "Грип"

Атрибути Симптоми	Дуже низький	Низький	Помірний	Високий	Дуже високий
Нежить	Ні	Ні	Можливо	Так	Так
Лихоманка	Ні	Можливо	Так	Так	Так
Кашель	Ні	Можливо	Так	Так	Так
Ломкість в тілі	Ні	Можливо	Так	Так	Так
Головний біль	Ні	Можливо	Так	Так	Так
Збільшення лімфатичних вузлів	Ні	Ні	Можливо	Можливо	Можливо

Таблиця 2

## Таблиця симптомів пацієнта

Симптом	Нечітке значення*	Симптом	Нечітке значення*
Нежить	П	Збільшення лімфатичних вузлів за вухом	ДН
Висип світло рожевого кольору	ДН	Біль в суглобах	ДН
Лихоманка	В	Збільшення лімфатичних вузлів у шиї	П
Кашель	П	Слабкість	ДВ
Різкий і уривчастий кашель	ДН	Нудота	П
Ломкість в тілі	Н	Біль в горлі	П
Головна біль	Н	Свербіння	ДН
Чутливість до світла	ДН	Втрата апетиту	Н
Кон'юнктивіт	В	Судоми	ДН

\* ДВ = дуже високий, В = високий, П = помірний, Н = низький, ДН = дуже низький.

Цілком природно, що розмір нечислових значень симптомів представлений нечіткими значеннями. Тим не менш, є й інші симптоми, такі як температура, тиск, рівень цукру в крові і т.д., які можуть бути задані числовим значенням. Такі значення мають бути належним чином приведені до нечіткого значення.

Нехай:

–  $s[f]$  – нечітке значення симптому  $f$  у вхідній множині симптомів;

- $r_{ij}$  –  $j$ -й симптом  $i$ -го діагнозу  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ ;
- $P_{ij} [r_{ij}, v]$  – процент впевненості в  $i$ -му діагнозу при нечіткому значенні  $v$  симптому  $r_{ij}$ ;
- $\delta_{ij}$  – діагностичне рішення щодо  $i$ -го діагнозу, що базується на відповідному симптомі  $r_{ij}$ ;
- $k_i$  – загальна кількість відповідних симптомів для  $i$ -го діагнозу;
- $w_{ij}$  – вага  $r_{ij}$  симптому в діагностуванні  $i$ -ої хвороби;
- $\sigma_i$  – загальне діагностичне рішення щодо  $i$ -ої хвороби.

Вплив симптому  $r_{ij}$  на діагностичне рішення може бути отриманий безпосередньо з таблиці профілю хвороби  $P_{ij} [r_{ij}, v]$ . Нечітке значення  $v$  отримується із симптому  $r_{ij}$  пацієнта як  $v_j$ . Значенню  $\delta_{ij}$  буде присвоєно одне зі значень нечіткого набору "Так", "Можливо" і "Ні". Воно може бути представлено наступним чином:

$$\delta_{ij} = P_{ij} [r_{ij}, v_j]. \quad (1)$$

Підсумовуючи ефект усіх  $k_i$  відповідних функцій, загальне діагностичне рішення щодо  $i$ -ої хвороби отримується наступним чином:

$$\sigma_i = \left( \sum_{j=1}^{j=k_i} w_{ij} \delta_{ij} \right) / \left( \sum_{j=1}^{j=k_i} w_{ij} \right). \quad (2)$$

Ваговий коефіцієнт  $w_{ij}$  вводиться тут для того, щоб лікар міг вказати, що деякі симптоми можуть мати більше або менше значення ніж інші при діагностиці захворювання, і він повинен встановити відповідні відносні значення ваг. Якщо всі симптоми мають однакове значення, то ваговий коефіцієнт буде дорівнювати одиниці для всіх функцій. У цьому випадку вираз (2) може бути спрощений до:

$$\sigma_i = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{j=k_i} \delta_{ij}. \quad (3)$$

Останнім кроком є отримання чітких значень [10], що визначають вірогідність наявності для кожного захворювання у множині  $D$ . Щоб показати, як отримати такі чіткі значення, розглянемо наступний приклад.

Припустимо, що дане захворювання  $d_i$ , що має 10 відповідних йому симптомів, кожен з яких має однакову вагу в діагностиці. Припустимо, що при використанні виразу (1) були отримані діагностичні рішення відповідні 7 "Так", 2 "Можливо" і 1 "Ні".

Загальне діагностичне рішення буде мати вигляд:

$$\sigma_i = ( 7 \text{ "Так"} + 2 \text{ "Можливо"} + 1 \text{ "Ні"} ) / 10.$$

Отримана нечітка множина зображена на рис. 2.

Нехай:

- $c_i$  – центр ваги загального нечіткої множини рішення;
- $c_y$  – центр ваги для нечіткого значення "Так";
- $q_i$  – визначеність присутності розглянутої хвороби  $d_i$  в процентах.

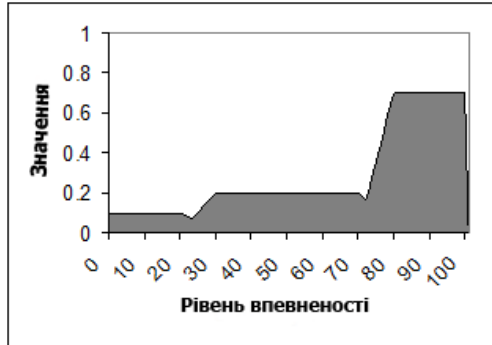


Рис. 2. Нечітка множина, що становить загальне діагностичне рішення

Отже, чітке значення рішення для хвороби  $d_i$  буде обчислено, як показано нижче. Слід зазначити, що якщо для всіх відповідних симптомів діагнозу  $d_i$  значення лінгвістичної змінної буде "Так", то рішення матиме 100%.

$$q_i = (c_i / c_y) \times 100\%. \quad (4)$$

Для даного прикладу значення  $c_i = 0,69$  та  $c_y = 0,87$ . Це говорить про те, що впевненість у присутності розглянутого захворювання становить 79%.

Обробка вимірюваних значень. Симптоми, що мають вимірювані значення, такі як температура, цукор в крові і т.д., будуть вказані в виді числового значення. Для простоти можна використовувати фіксовані таблиці, підготовані лікарем, щоб відобразити ці числові значення в виді нечітких значень з множини {дуже низька, низька, помірна, висока, дуже висока}. Це рішення в деяких випадках може бути доцільним. Тим не менш, розглянемо рішення, яке є більш точним і дозволяє уникнути різких перепадів значень. Розглянемо приклад зі значенням цукру в крові, як показано на рис. 3.

На рис. 3 представлена нечітка множина з чотирьох значень, які відображають рівень глюкози в крові. Якщо виміряне значення, наприклад, дорівнюватиме 8,7%, то дане значення буде віднесене до

нечіткої змінної "середній" зі значенням коефіцієнту 0,3 і "Високий" зі значенням коефіцієнту 0,7.

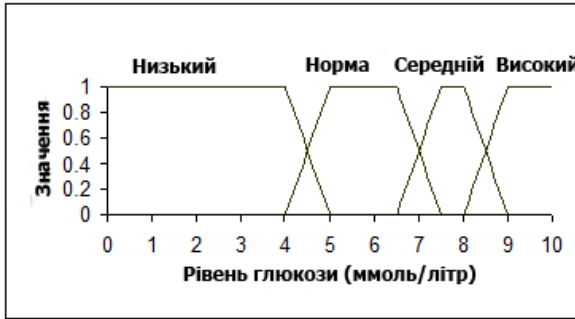


Рис. 3. Нечітка множина рівня цукру в крові

Припустимо, що в профілі деякого захворювання  $d_i$  зберігається наступна інформація:

– якщо рівень цукру "середній", то впевненість у діагнозі  $d_i$  "Можливо".

– якщо рівень цукру "високий", то впевненість у діагнозі  $d_i$  "Так".

Таким чином, діагностичне рішення  $\delta_{ij}$  для захворювання  $d_i$  на основі значення рівню цукру в крові 8,7% буде прийматися на основі двох нечітких значень: "Можливо" з коефіцієнтом 0,3 та "Так" з коефіцієнтом 0,7, як показано на рис. 4.

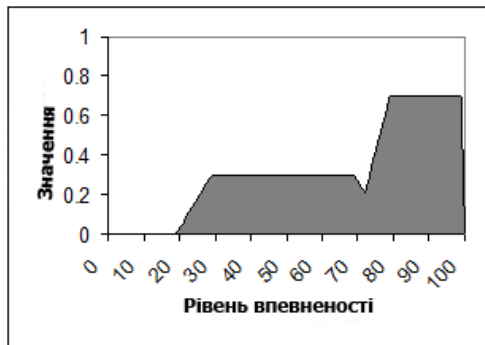


Рис. 4. Нечітка множина діагностичного рішення на основі значення рівню цукру в крові (8,7%)

Дане рішення може бути узагальнене з можливістю включення інших числових значень, таких як кров'яний тиск.

У цьому випадку дана міра може складатися з чотирьох можливих нечітких множин і має бути застосоване правило мінімуму для об'єднання пар нечітких множин з застосуванням оператора "І".

**Висновки.** В результаті виконаної роботи було формалізовано експертну інформацію щодо заданих множин діагнозів та їх симптомів при проведенні терапевтичних обстежень. Запропоновано формування профілів захворювань та їх зберігання у вигляді нечітких таблиць. Розроблено метод формування діагностичного висновку на основі нечіткої логіки. Виконана тестова перевірка працездатності розробленого методу.

**Список літератури:** 1. *Кобринський Б.А.* Автоматизовані системи диференціальної діагностики спадкових захворювань / *Б.А. Кобринський, Л.З. Казанцева, А.С. Фельдман* // Спадкова патологія людини – М.: Медицина, 1992. – С. 229-239. 2. *Виноградов А.В.* Диференціальний діагноз внутрішніх хвороб: довідковий посібник для лікарів / *А.В. Виноградов.* – М.: Медицина, 1987. – С. 96-117. 3. *Евербек Г.* Диференційна діагностика хвороб у дитячому віці: Пер. з нім. / *Г. Евербек.* – М.: Медицина, 1980. – С. 146-185. 4. *Рігельман Р.* Як уникнути лікарських помилок. Книга практикуючого лікаря: Пер. з англ. / *Р. Рігельман.* – М.: Практика, 1994. – С. 45-216. 5. *Лукашевич І.П.* Проблема отримання та передачі медичних знань / *І.П. Лукашевич, А.Л. Сиркін* // Комп'ютерна хроніка. – 1994. – № 8-9. – С. 39-43. 6. *Рассел Б.* Філософія логічного атомізму (1918) / *Б. Рассел* // Філософія логічного атомізму. – Томськ: Вид-во "Водолій", 1999. – С. 3-108. 7. *Кобринський Б.А.* Нечітка логіка в аналізі образних уявлень в медичних системах штучного інтелекту / *Б.А. Кобринський* // Міжнар. конф. по м'яких обчислень і вимірювань: 36. докл. Т.1. – СПб. – 1998. – С. 233-235. 8. *Фінн В.К.* Про один варіант логіки аргументації / *В.К. Фінн* // НТИ. Сер.2. – 1996. – № 5-6. – С. 3-19. 9. *Innocent P.R.* Fuzzy Methods and Medical Diagnosis / *P.R. Innocent, R.I. John, J.M. Garibaldi* // The Centre for Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK. – 2004. – С. 4-17. 10. *Klir J.K.* Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and applications / *J.K. Klir, B. Yuan* – Prentice-Hall, 1995. – С. 2-7.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Kobrin'skij B.A.* Avtomatizovani sistemi diferencial'noj dijagnostiki spadkovih zahvorjuvan' / *B.A. Kobrin'skij, L.Z. Kazanceva, A.S. Fel'dman* // Spadkova patologija ljudini. – M., Medicina, 1992. – P. 229-239. 2. *Vinogradov A.V.* Diferencial'nij diajnoz vnutrishnih hvorob: dovidkovij posibnik dlja likariv / *A.V. Vinogradov.* – M.: Medicina, 1987. – P. 96-117. 3. *Everbek G.* Diferencijna diajnozika hvorob u ditjachomu vici: Per. z nim. / *G. Everbek.* – M.: Medicina, 1980. – P. 146-185. 4. *Rigel'man R.* Jak uniknuti likars'kih pomilok. Kniga praktikujučogo likarja: Per. z angl. / *R. Rigel'man* – M.: Praktika, 1994. – P. 45-216. 5. *Lukashevich I.P.* Problema otrimannja ta peredachi medichnih znan' / *I.P. Lukashevich, A.L. Sirkin* // Komp'juterna hronika. – 1994. – № 8-9. – P. 39-43. 6. *Rassel B.* Filosofija logičnogo atomizmu (1918) / *B. Rassel* // Filosofija logičnogo atomizmu. – Tom'sk: Vid-vo "Vodolij", 1999. – P. 3-108. 7. *Kobrin'skij B.A.* Nečitka logika v analizi obraznih ujavlen' v medichnih sistemah shtučnogo intelektu / *B.A. Kobrin'skij* // Mizhnar. konf. po m'jakih obchislen' i vimirjuvan': Zb. dokl. – 1998. – T.1. – SPb. – P. 233-235. 8. *Finn V.K.* Pro odin variant logiki argumentacii / *V.K. Finn* // NTI. Ser.2. – 1996. – № 5-6. – P. 3-19. 9. *Innocent P.R.* Fuzzy Methods and Medical Diagnosis / *P.R. Innocent, R.I. John, J. M. Garibaldi* // The Centre for



Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK. – 2004. – P. 4-17. **10.** *Klir J.K.* Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and applications / *J.K. Klir, B. Yuan* – Prentice-Hall, 1995. – S. 2-7.

*Поступила (received) 20.07.2015*

*Статтю представив д-р техн. наук, проф. каф. обчислювальної техніки та програмування Леонов С.Ю.*

Povoroznjuk Anatolij, Dr.Sci.Tech, Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
tel./phone: (057) 707-60-19, e-mail: AI.Povoroznjuk@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0003-2499-2350

Kharchenko Evgenij, master  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Uchitelskaja, 11, Peresechnoe, Kharkov, Ukraine, 62364  
tel./phone: +38 066 2319803, e-mail: xabi@meta.ua  
ORCID ID: 0000-0006