

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»
ДП «ДЕЛЬТА-ЛОЦМАН»
ТОВ "ЮСК СЕРВИС"
ТОВ «ЕВЕРІ»

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

X міжнародної науково-технічної конференції

Том 2.

26 – 28 вересня 2019 р.

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9 м. Миколаїв*

УДК 001.895:629.5
И66

ОРГАНІЗАТОРИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ПІВДЕННИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
ГОЛОВНЕ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖАВНОЇ СЛУЖБИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
У МИКОЛАЇВСЬКІЙ ОБЛАСТІ
ДП «ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ ЦЕНТР КОРАБЛЕБУДУВАННЯ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ»
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРБІНСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (КИТАЙ)
УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ ЦЗЯНСУ (КИТАЙ)
ГДАНСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
ЗАХІДНО-ПОМЕРАНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
КОШАЛІНСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ПОЛЬЩА)
БАТУМСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАВІГАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ГРУЗІЯ)
МОРСЬКЕ ІНЖЕНЕРНЕ БЮРО
АТ «ЗАВОД «ЕКВАТОР»
КОМПАНІЯ «АМІКО ГРУПП»
ДП «ДЕЛЬТА-ЛОЦМАН»
ТОВ "ЮСК СЕРВИС"
ТОВ «ЕВЕРІ»

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.**

Відповідальний за випуск:
Блінцов Володимир Степанович

И66 **Інновації** в судобудуванні та океанотехніці : Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції. у 2 томах. Т. 2. — Миколаїв : НУК, 2019. — 448 с.

ISBN 978-966-321-370-5

У збірнику наведені матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в судобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 001.895:629.5

ISBN 978-966-321-370-5

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

УДК 004.9:681.3

**ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ
ДЛЯ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ****Бузунова М. І., ст. гр. 5141м, Патлайчук О.В., к.ф.н., доц.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

Україна, м. Миколаїв,

buzunovamargarita@gmail.com, volnistik@gmail.com

Анотація. Розглянуто застосування нечіткої логіки в медичних системах. Виконано дослідження математичних моделей експертних систем на основі нечіткої логіки. Розроблено удосконалену математичну модель TSK, що об'єднує глобальне і локальне навчання для медичної інформаційної системи.

Ключові слова: нечітка логіка (НЛ), експертна система (ЕС), інформаційна система (ІС), нечіткі множини (НМ).

Вступ

Постановка проблеми та її актуальність. Дослідження розумової діяльності людини показали, що значна кількість часу йде на створення умов розумової роботи, які зводяться до знаходження необхідної інформації, друкування, побудови графіків та іншої роботи, яку, можуть виконувати технічні пристрої. Щодо роботи медичних установ цей висновок цілком можна застосувати. Інструментом, що удосконалює діяльність медичних центрів у сфері переробки інформації, управління і планування виступає інтелектуальна інформаційна система.

Аналіз та дослідження літературних даних показав, що медична сфера характеризується високою складністю формалізації опису класів стану здоров'я людини, а в задачах прогнозування і діагностики різні класи перетинаються в просторі інформаційних ознак [1, 2]. Крім того, для цілого ряду завдань побудова прогностичних і діагностичних математичних моделей характеризується неповним і нечітким поданням вихідних даних. В таких умовах ряд дослідників рекомендують застосовувати нечіткі логічні рішення [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні інформаційні системи підтримки прийняття рішень, які базуються на правилах, не здатні забезпечити розуміння медичних даних та клінічних рекомендацій, і на практиці демонструють ряд істотних «обмежень». Відповідно, спрямовано створення інтелектуальної інформаційної системи, що будується на рекомендаціях експертів та комп'ютерних засобів представлення знань. Проведено ряд досліджень з даної теми такими авторами: 1) Кондрук Н. Е. в своїй статті «Розробка системи обробки нечіткої експертної інформації» пропонує використовувати методи абстрагування нечітких даних експертів, що закладено в працях Заде Л., в багатьох галузях науки, включаючи медицину. В роботі розглядається постановка оцінки об'єкта нечіткої задачі та розробку математичного пристосування [4]. 2) В виданні Пурського О.І. «Інтелектуальні програмні комплекси в медицині і мінімізація області прийняття рішень», «Задача ідентифікації математичних моделей функціонування експертних систем управління на основі нечіткої логіки» пропонується застосування теорії мінімізації рішень. За дослідженням Пурського зазначена теорія визначить кінцеву базу знань та формулювання рішень прийняття правил. Неперервне навчання – це ефективне вирішення проблематики адекватної відповіді медичних ЕС на вхідний запит [5, 6]. 3) Зайченко Ю.П., Мурга Н.А. проводять дослідження застосування нечіткої нейронної мережі Такаґи-Сугено-Канґа (TSK) «Применение систем на нечёткой логике к задаче медицинской диагностики». Отриманні результати дослідження підтвердили ефективність TSK до задачі діагностики, проте оптимальність рішення системи не знайдено [7]. 4) В статті Гаріна І.О. та Смирнова Р. М. «Автоматизированные экспертные системы. Применение в медицине» в умовах неповноти та нечіткості ПО застосовується семантичні мережі. Розглядається застосування статистичних методів розробки рішень, а статистичні пакети прикладних програм розширюють практичне вживання даних методів [8]. 5) Киркало Р., Кравець П. «Системы принятия решений с нечёткой логикой» досліджується використання гібридних методів штучного інтелекту для ефективного вирішення задач: нейронні мережі, нечіткі мережі Петрі, адаптивні бази нечіткі правила (далі НЛ), нечіткі графи, нечіткі когнітивні карти, нечіткий кластерний аналіз [9].

Проведений аналіз засвідчив використання НЛ – є найбільш ефективна для формалізація медичних задач, тому що НЛ ближче за своєю суттю до людського мислення і природних умов [10 – 12].

Представлення інформації в медицині – є неповною, суперечливою та неточною, наприклад, інформація може бути: про пацієнта, історію пацієнта, медичний огляд, лабораторні аналізи і тд [13 – 14]. Башликов І.А., Буня В.В., Гадалов В.Н. довели необхідність використання НЛ при прогнозуванні хвороби шлунка [15]. Лапитов

А.І., Радченко С.В. вважають, що НЛ може застосовуватися в діагностиці стоматологічних захворювань [16]. Серед досліджень зарубіжних авторів розробився розвиток діагностики післяопераційних ускладнень [17], оцінка серцевої діяльності [18], оцінка ступеня опіку [19], діагностика ракових пухлин центральної нервової системи [20] та інші. НЛ можна використовувати в ІС для ведення медичної документації, такої як історії захворювання, результати аналізів і оглядів лікарів. Створення ІС з використанням НЛ для медичної документації матиме позитивні результати, так як ІС буде враховувати медичні особливості кожної окремої людини. Використання є необхідним тому, що допомагає підвищити якість медичних послуг і діагностики. На сьогоднішній день напрямок НЛ в медицині є одним з найбільш перспективних і вимагає подальшого вивчення.

Метою дослідження постало питання та розробка удосконаленої математичної моделі прийняття рішень в ЕС на основі НЛ.

Дослідження

Розробка штучного інтелекту НЛ застосувала постановку значень змінних правил, що представляється в вигляді структури підтримки рішень ЕС на основі НЛ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Структура ЕС на основі НЛ [5]

Характеристика опису нечіткої системи (НС) включає нечіткий: опис вхідних і вихідних змінних, функціонування правил «ЯКЩО – ТО» та специфікація параметрів системи. Класом представлення НС – це система управління (НСУ), компонентом якого є база знань (БЗ) та є сукупністю НП «ЯКЩО – ТО» (рисунок 2), що встановлюють зв'язок системи між входами та виходами [6, 21].

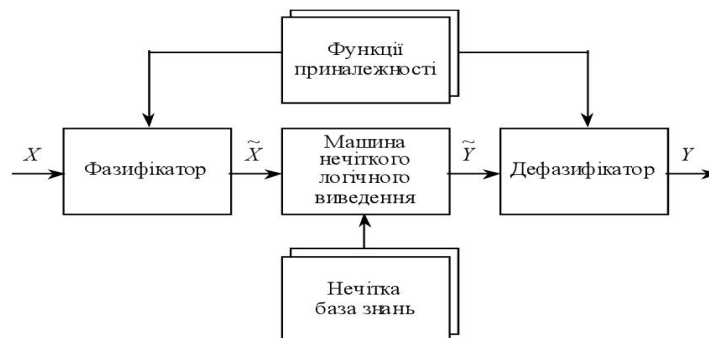


Рисунок 2 – Структура нечіткої моделі [6]

Система нечіткого висновку функціонує для змінення вхідних в вихідні змінні. Нечітка модель включає такі етапи (рисунок 1.3): фазифікатор – змінює вектор факторів X у вектор НМ $\tilde{X}$, потрібних нечіткому логічному висновку; нечітка БЗ – складає залежність Y від $F(x)$; машина нечіткого логічного висновку – обумовлює значення вихідної змінної НМ $\tilde{Y}$ і вхідної змінної $\tilde{X}$; дефазифікатор – змінює вихідну НМ $\tilde{Y}$ в Y . Задача ідентифікації – це устанавлення нечіткої моделі F , що задовольняє значенню мінімального критерія неузгодженості R [6, 22]:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - F(x_i))^2 \rightarrow \min (1), \quad (1)$$

де M – об'єм вибірки, x_r – вектор входів, y_r – вихід в r -парі, $F(x_r)$ – значення виходу нечіткої моделі при значенні входів x_r .

Алгоритмів нечіткого висновку існує деяка кількість: Мамдані, Ларсена, Такагі, Сугено, Цукамото.

Алгоритм Мамдані визначається як [23]: утворення база правил (БП) систем нечіткі виводи (НВ); фаззифікація входних змінних; об'єднання умови в НП, для пошуку показнику істинності; внесення укладень в НП (2) [23]; складання висновків НП, здійснюється об'єднання НМ; дефаззифікація значень змінних на виході методом центра тяжіння (3) – (4) чи методом централізації площ (5) [23].

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}. \quad (2)$$

де $c = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, q – спільні заключення в БП.

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} x dx}, \quad (3)$$

де y – наслідок дефаззифікації, x – вихідна змінна w , $\min$ і $\max$ – точки інтервалу НМ вихідної змінної w , $\mu(x)$ – функція приналежності НМ змінної w на виході.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (4)$$

де n – значення на виході змінної НМ.

$$\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx = \int_{\min}^{\max} \mu(x) dx, \quad (5)$$

Алгоритм Цукамото визначається як [23]: утворення БП систем НВ; фаззифікації входних змінних; об'єднання умови в НП; внесення заключень в НП, аналогічно Мамдані за формулою (2) [23], після знаходження не чітких значень змінної w_j на виході, як розв'язок рівняння (6) [23]; складання висновків НП – числами w_j ; дефаззифікація значень змінних на виході здійснюється методом централізації тяжіння (7).

$$c_i = \mu(w_j) (\forall i \in \{1, 2, \dots, q\}). \quad (6)$$

де q – спільні заключення в БП.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (7)$$

де n – значення на виході змінної w_j .

Алгоритм Ларсена визначається таким чином [23]: утворення БП; фаззифікації входних змінних; об'єднання умови в НП, застосовується нечіткий пошук показників істинності правил: сполучення та диз'юнкції; внесення заключень в НП, здійснюється використанням формули (8), за допомогою чого знаходиться сукупність НМ $c = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ (8); складання висновків НП; дефаззифікація на виході змінних.

$$\mu'(y) = c_i * \mu(y). \quad (8)$$

Алгоритм Сугено-Такагі [23] визначається як: БП систем НВ за формулою (9); фаззифікації змінних на виході; об'єднання умови в НП, застосування кон'юнкції; внесення заключень в НП зі застосуванням методу (2) знаходяться значення, здійснюється розрахунок значень змінних на виході (9), становлення значення $c = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ і вихідних змінних $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$; складання висновків НП із значеннями w_j ; дефаззифікація змінних на виході методом централізації тяжіння (7).

$$\text{ЯКЩО } \langle \beta_1 \in \alpha \rangle \text{ І } \langle \beta_2 \in \alpha \rangle \text{ ТО } \langle w = \varepsilon_1 * a_1 + \varepsilon_2 * a_2 \rangle, \quad (9)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – вагові коефіцієнти.

Всі методи практичні та широко використовуються, але для вирішення «глобальних» завдань з складною галуззю дослідження, використання якогось одного метода – являється неповним та неточним.

Для розробки математичної моделі за основу обрано алгоритм Сугено-Такагі (інша назва модель TSK).

Завданням вивчення алгоритмів є оцінка параметрів моделі, які включають параметри в функції приналежності і параметрів в лінійної регресії рівняння. Формула виводу моделі (10) представляється в вигляді [24]:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i (b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n), \quad (10)$$

де w_i визначається за формулою (11) [24]:

$$w_i = \frac{\pi_i}{\sum_{i=1}^n \pi_i}, \quad (11)$$

Рівняння (10) нелінійне за параметрами, тому використовується алгоритм градієнтного спуску.

Складено алгоритм глобального навчання. Глобальне навчання визначає параметри моделі шляхом мінімізації цільової функції, які можуть бути перегруповано в матричну форму (2.3 – 2.6) [24]:

$$J_G = (d - Xb)^T (d - Xb), \quad (12)$$

де d визначається за формулою (13):

$$d = [d(1) \ d(2) \dots d(N)]^T \in \mathbb{R}^N, \quad (13)$$

де X визначається за формулою (14):

$$X = \begin{bmatrix} w_1(1) & w_1(1)x_1(1) & \dots & w_1(1)x_r(1) & \dots & w_2(1) & w_2(1)x_1(1) & \dots & w_2(1)x_r(1) \\ w_1(2) & w_1(2)x_1(2) & \dots & w_1(2)x_r(2) & \dots & w_2(2) & w_2(2)x_1(2) & \dots & w_2(2)x_r(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1(N) & w_1(N)x_1(N) & \dots & w_1(N)x_r(N) & \dots & w_2(N) & w_2(N)x_1(N) & \dots & w_2(N)x_r(N) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{N \times (r+1)N}, \quad (14)$$

$$b = [b_{10} \ b_{11} \dots b_{1r} \dots b_{20} \ b_{21} \dots b_{2r}]^T \in \mathbb{R}^{(r+1)N}, \quad (15)$$

Оскільки параметри попередніх функцій приналежності визначено, єдиним невідомим компонентом у J_G – є вектор параметра b , елементи якого є параметрами у рівняннях лінійної регресії моделі TSK. Сингулярний розклад матриці (SVD) застосування до X дає (17) [24]:

$$X = U \Sigma V^T, \quad (16)$$

$$\text{де } U = [U_1 \ U_2 \dots U_N] \in \mathbb{R}^{N \times N}, \ V = [V_1 \ V_2 \dots V_{(r+1)N}] \in \mathbb{R}^{(r+1)N \times (r+1)N}, \ \Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{(r+1)N}) \in \mathbb{R}^{N \times (r+1)N}, \\ \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{(r+1)N} \geq 0$$

Діагональні елементи – сингулярні значеннями X . Підставляючи (16) в (12), отримується найменше Евклідове нормальне рішення b як [27]:

$$b = \sum_{i=1}^S \frac{u_i^T d}{\sigma_i} v_i, \quad (17)$$

де S – число ненульових одиничних значень.

Складено алгоритм локально навчання. Локальне навчання обчислює параметри моделі шляхом мінімізації цільової функції J_L , визначеної як [24]:

$$J_L = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N w_i(k) [d(k) - y_i(k)]^2, \quad (18)$$

Подібно до (12), можна переставити в просту матрицю (19):

$$J_L = \sum_{k=1}^K (d - X_k b)^T W_k (d - X_k b) \\ J_L = \sum_{k=1}^K (W_k^{1/2} d - W_k^{1/2} X_k b)^T (W_k^{1/2} d - W_k^{1/2} X_k b), \quad (19)$$

де w_i , x_i , b визначається за формулами (20), (21), (22), відповідно:

$$W_k = \begin{bmatrix} w_1(1) \\ w_1(2) \\ \vdots \\ w_1(N) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{N \times 1}, \quad (20)$$

$$X_k = \begin{bmatrix} w_1(1) & w_1(1)x_1(1) & \dots & w_1(1)x_r(1) \\ w_1(2) & w_1(2)x_1(2) & \dots & w_1(2)x_r(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1(N) & w_1(N)x_1(N) & \dots & w_1(N)x_r(N) \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{(r+1)N \times N}, \quad (21)$$

$$b = [b_{10} \ b_{11} \dots b_{1r}]^T \in \mathbb{R}^{(r+1)N}, \quad (22)$$

Застосування SVD $W_k^{1/2} X_k$ (23), отримується:

$$W_k^{1/2} X_k = U_k \Sigma_k V_k^T, \quad (23)$$

Розрахування найменшого рішення Евклідової норми(24) [24]:

$$b = \sum_{i=1}^{S_k} \frac{u_i^T W_k^{1/2} d}{\sigma_i} v_i, \quad (24)$$

де S_k – кількість ненульових одиничних значень в Σ_k , U_k , V_k – i -й стовпчик U_k та V_k , відповідно.

Комбіноване навчання вибирає параметри моделі шляхом мінімізації комбінованої цільової функції J_c (25):

$$J_c = \alpha J_G + \beta J_L, \quad (25)$$

де α і β є двома константами, що задовольняють (26):

$$\alpha + \beta = 1, \quad (26)$$

Локальна цільова функція (27):

$$J_c = (d' - X'b)^T W (d' - X'b), \quad (27)$$

де d' , X' , W , b визначається за формулами (28), (29), (30), відповідно:

$$d' = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n]^T e^{q(r+1)z}, \quad (28)$$

$$X' = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_1 & X_2 & \dots & X_n \end{bmatrix} e^{q(r+1)z}, \quad (29)$$

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & \dots & W_n \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_1 & W_2 & \dots & W_n \end{bmatrix} e^{q(r+1)z}, \quad (30)$$

$$b = [b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n]^T e^{q(r+1)z}, \quad (31)$$

Підставлені формули (27) та (22) в (25) отримано формулу (32):

$$J_c = \alpha(d - Xb)^T (d - Xb) + \beta(d' - X'b)^T W (d' - X'b). \quad (32)$$

Оскільки d' і d , а також X і X' мають різні розміри розрізняється J_c по відношенню до b та прирівнюється результат до нуля, отримано (33):

$$(\alpha X^T X + \beta X'^T W X') b = (\alpha X^T d + \beta X'^T W d'). \quad (33)$$

де $\tilde{X} = \alpha X^T X + \beta X'^T W X'$ $\tilde{d} = \alpha X^T d + \beta X'^T W d'$

Звідси $\tilde{X}b$ отримується за формулою (34):

$$\tilde{X}b = \tilde{d}, \quad (34)$$

Застосування SVD (35):

$$\tilde{X} = U \Sigma V^T, \quad (35)$$

Розрахування найменшого рішення Евклідової норми(36):

$$b = \sum_{i=1}^S \frac{1}{\sigma_i} \tilde{U}_i \tilde{V}_i^T \tilde{d}, \quad (36)$$

де S – кількість ненульових одиничних значень в Σ , $\tilde{U}_i$, $\tilde{V}_i$ – i -й стовпчик $\tilde{U}$ та $\tilde{V}$, відповідно.

Висновки та результати досліджень

Розроблений алгоритм математичної моделі – це покращений алгоритм TSK, який є комбінованим, що інтегрує глобальне і локальне навчання в єдиній структурі. Використовується ідея локального зважування і локального наближення (LWR і LA), але залишається компонентом глобального пристосування в нечіткому алгоритмі ідентифікації моделі. Комбінація виконує ускладнення глобальної та локальної цільової функції. Це сприяє налаштуванню алгоритму «під себе», узагальнюючі моделі між глобальною адаптацією та локальною інтерпретацією. Даний алгоритм математичної моделі може використовуватися для ІС, яка вирішує питання складної формалізації опису здоров'я, прогнозування та діагностики людини та характеризується поданням вихідних даних в залежності від уподобань користувача.

REFERENCES

- [1] Korenevsky, N. A. (2013). The method of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and management of the state of biotechnical systems. *Management, computing, computer science*. Medical Instrument, № 2, 99-103.
- [2] Korenevsky, N.A. (2008). Synthesis of fuzzy network models trained in data structure for medical expert systems. *Medical equipment*. No. 2, 18-24.
- [3] Korenevsky, N.A. (2012). Geometric approach to the synthesis of fuzzy decision rules for solving problems of prediction and medical diagnosis. *Biomedical electronics*. № 4, 20-26.
- [4] Kondruk, N. E. (2014). The processing of the system of processing of non-expert examinations. *Technology control rozvitkom*. No. 18, 173-176.
- [5] Pursky, O. I. (2011). Intelktualni programni kompleksi in medical i minimizatsiya oblasti priynyattya iceny. *Processing Systems Information*. No. 3, 228-230.
- [6] Pursky, O. I. (2011). The task of IDENTIFICATION of mathematical models of the functional management of expert control systems on the basis of implicit logics. *Management of folding systems folding systems*. No. 6, 120-123.
- [7] Zaichenko, Yu.P. (2008). Application of systems on fuzzy logic to the task of medical diagnostics. *Bulletin of NTUU "KPI"*. № 49, 14-23.
- [8] Garina, I.O. (2015). Automated expert systems. Use in medicine. *Youth Scientific and Technical Gazette*. No. 3, 14-23.

- [9] Kravets, P. (2009). The systems are resolved by an implicit logic. *Bulletin of the National University "Lviv Politekhnik"*. No. 650, 115-123.
- [10] Rotshtein, A.P. (1999). *Intellectual identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks*. Vinnitsa: UNIVERSUM.
- [11] Rutkovskaya, D., Pilinsky M., Rutkovsky. L. (2004). *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*. M.: Hotline.
- [12] Shtovba, S.D. (2007). *Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems*. M.: Hotline - Telecom.
- [13] Torres, A. (2006). Fuzzy logic in medicine and bioinformatics. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. № 91908, 1-7.
- [14] Nieto, J.J. (2003). Midpoints for fuzzy sets and their application in medicine. *Artificial Intelligence in Medicine*. № 27, 81-101.
- [15] Bashlykov, I.A. (2006). Using the methods of fuzzy decision-making logic for prediction and diagnosis of gastric ulcer. *Bulletin of new medical technologies*. № 2, 10-12.
- [16] Lapytov, A.I., Radchenko S.V. (2009). The use of fuzzy logic in the differential diagnosis of dental diseases. *Electronic medical journal*. № 6, 121-124.
- [17] Sakaguchi, S. (2004). Development of an early diagnostic system using fuzzy theory for postoperative infections in patients with gastric cancer. *Digestive Surgery*. № 3, 210-214.
- [18] Joly, H. (1980). Application of Fuzzy Set Theory to the Evaluation of Cardiac Functions. *MEDINFO 80*. № 1, 91-95.
- [19] Acha, B. (2003). CAD Tool for Burn Diagnosis. *Information Processing in Medical Imaging*. № 18, 294-305.
- [20] Belacel, N. (2004). Multicriteria Fuzzy Classification Procedure PROCFTN: Methodology and Medical Application. *Institute for Information Technology*. №141(2), 203-217.
- [21] Orlov, A.I. (2004). *Decision Theory: Study Guide*. M.: Mart Publishers.
- [22] Zade, L.A. (1976). *The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions*. M.: Mir.
- [23] Leonenkov, A.V. (2005). *Fuzzy simulation in MATLAB and fuzzyTECH*. SPb.: BHV Petersburg.
- [24] Yen, J. (1995). Integrating global and local evaluations for fuzzy model identification using genetic algorithms. *In Proc. 6th Int. Fuzzy Syst. Assoc. World Congress (IFSA'95)*. №4, 121-124.

Buzunova M.I., Patlaychuk O.V.

Research of mathematical models of expert systems based on fuzzy logic for a medical information system

Abstract. *The use of fuzzy logic in medical control systems is considered. The study of mathematical models of expert systems based on fuzzy logic. An advanced TSK mathematical model has been developed that combines global and local training for a medical information system.*

Keywords: *fuzzy logic (NL), expert system (ES), information system (IS), neural networks (NS).*

Бузунова М.И., Патлайчук О.В.

Исследование математических моделей экспертных систем на основе нечеткой логики для медицинской информационной системы

Аннотация. *Рассмотрено применение нечеткой логики в медицинских системах управления. Выполнены исследования математических моделей экспертных систем на основе нечеткой логики. Разработан усовершенствованную математическую модель TSK, что объединяет глобальное и локальное обучение для медицинской информационной системы.*

Ключевые слова: *нечеткая логика (НЛ), экспертная система (ЭС), информационная система (ИС), нейронные сети (НС).*