

*Іванова Є.О., Коротка Л.І.*

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДСИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ КРОВІ

ДВНЗ «Український держаний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

Робота присвячена створенню інтелектуальної підсистеми діагностування захворювань за аналізом крові, параметри якого можуть відхилятися від норми та описуватися інтервальними величинами. У даній роботі пропонується використовувати елементи обчислювального інтелекту, зокрема: теорію нечітких множин. Для визначення відхилень аналізу крові застосовано нормативні медичні документи, на основі яких встановлюється норма або не норма показників. Пропонується описувати ті параметри, які виходять за межі нормативних документів за допомогою функцій належності. У деяких випадках використовуються лінгвістичні змінні, зокрема, терм-множини «дуже», «не дуже» та ін. Запропоновано для визначеності застосовувати прямі експертні методи побудови функцій належності. У більшості випадків обрано та використовуються трапецієвидні функції. Згідно прямих експертних оцінок, вони мають інтервальні границі змінення показників, що відхиляються від нормативних медичних документів. Для аналітичного завдання функцій належності використовується сховище їх параметрів та інтервали, на яких можуть варіюватися показники, що відхиляються від норми. Дана інформаційна підсистема має базу даних пацієнтів та динамічно оновлюється. Інформаційна підсистема розрахована на медичних працівників та має розгалужені права доступу. Так, наприклад, медичні сестри працюють тільки з базою даних, а лікарі мають доступ до всієї системи. Створена інформаційна підсистема є веб-орієнтовною, тому реалізована можливість зворотного зв'язку з пацієнтами. За їх бажанням на електронну скриньку надсилаються результати аналізу крові пацієнта. Причому, при відхиленнях у результатах за конкретними параметрами видається ступінь впевненості фахівця в тому чи іншому захворюванні. У роботі на основі нормативних медичних документів використано та сформовано нечітку базу правил медичного діагностування захворювань за аналізом крові. Створену інформаційну підсистему можна вважати інтелектуальною, так як застосовано елементи обчислювального інтелекту, до яких, зокрема, і відноситься теорія нечітких множин.

**Ключові слова:** функції належності, нечіткі множини, ступінь впевненості, медичне діагностування, інтелектуальна підсистема.

### *Постановка проблеми*

Використання інформаційних технологій в медицині, як правило, ведеться за наступними напрямками: документообіг та фінансова звітність, використання відповідного обладнання, діагностування та ін.

Найбільш наукоємним напрямом є діагностування та прогнозування різного роду захворювань, яке базується на різних методах, у тому числі: статистичні методи обробки даних, нелінійних регресійних методах, використання систем штучного інтелекту [1].

На сьогоднішній день існуючий процес діагностування пацієнтів лікарень, зокрема державних, є досить довгим та багатоетапним, оскільки для підтвердження або спростування діагнозу потрібно здати низку аналізів, що може призвести, через довготривалість даного процесу, до загострення хвороби або поставлення хибного діагнозу. Існуючі автоматизовані методи діагностики є недостатньо ефективними – більшість систем орієнтована на визначення конкретного захворювання, що через специфіку медичної галузі, має високу ймовірність виявитись хиб-

ним, дані системи мають невиправдану складність алгоритмів та їх програмної реалізації.

#### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

Таким чином, існує проблема недосконалості сучасних методів діагностування, що не забезпечують високу точність виявлення захворювання та зручність застосування із залученням персональних мобільних засобів, не можуть бути використані пацієнтами дистанційно без відвідування лікарні.

Для усунення даної проблеми пропонується підхід, заснований на визначенні показників загального аналізу крові, що проводиться при більшості захворювань і профілактичних обстеженнях, та включає в себе 10 показників, кожен з яких при відхиленні від норми передбачає схильність до певних хвороб. Діагностування за допомогою отриманих показників аналізу крові допомагає виявити відхилення результатів від норми та спрогнозувати тип захворювання пацієнта з конкретним ступенем впевненості спеціаліста.

Слід зазначити, що при аналізі об'єктів, що характеризуються достатньо великою кількістю параметрів, виникає необхідність розробки та використання методів, які спеціалізуються на класифікації багатомірних даних [2].

Як зазначалося раніше, для діагностування та прогнозування захворювань можна використовувати: статистичні методи, регресійний аналіз, методи та системи штучного інтелекту, зокрема експертні системи [3], нейронні мережі [4] та нечіткі множини.

#### *Формулювання мети дослідження*

Для попередньої діагностики захворювань на основі аналізу крові базовим документом являється медично-нормативний документ [5] аналізу крові (табл. 1), виходячи з якого обирається вид функцій належності (ФН) – трапецієвидні. Тобто ядром функції належності є інтервал з медично-нормативного документу, а бічні ребра трапеції будуються на основі знань експерта у даній предметній області. Базуючись на медично-нормативному документі, маємо задачу класифікації.

Таким чином, вказаний нормативно-медичний документ дає можливість визначити інтервал, який є нормою/ненормою, як для жінок так і для чоловіків. Слід зазначити, що для завдання функцій належності, де параметри мають відхилення (тобто не норму), використовуються прямі методи побудови ФН, виходячи з експертних оцінок.

Таблиця 1

#### **Нормативно-медичний документ аналізу крові**

Показник загального аналізу крові	Нормальне значення		Одиниці виміру
	Жінки	Чоловіки	
Гемоглобін	120–140	130–160	г/л
Еритроцити	3,7–4,7	4,0–5,1	10 <sup>12</sup> клітин/л
Лейкоцити	4,0–9,0		10 <sup>9</sup> клітин/л
Базофіли	0–0,65		10 <sup>9</sup> клітин/л
Еозинофіли	4,0–8,8		10 <sup>9</sup> клітин/л
Паличкоядерні	0,04–0,30		10 <sup>9</sup> клітин/л
Сегментоядерні	2,0–5,5		10 <sup>9</sup> клітин/л
Лімфоцити	1,2–3,0		10 <sup>9</sup> клітин/л
Моноцити	0,09–0,60		10 <sup>9</sup> клітин/л
ШОС	2–15	1–10	мм/год

#### *Виклад основного матеріалу дослідження*

Далі буде наведено параметри аналізу крові, які в роботі використано для надання ФН для жінок (табл. 2) та чоловіків (табл. 3). Як зазначалося раніше, на основі нормативних документів створювана інформаційна підсистема дозволяє будувати графіки функцій належності, фрагменти надання їх у програмі наводяться в таблицях. В роботі застосовуються лінгвістичні змінні, такі як відхилення від норми. Записуються терм-множини із застосуванням операцій розтягнення та стиснення, зокрема для завдання значень термів «дуже», «не дуже» та ін.

Фактично для завдання функцій належності для чоловіків та жінок головним є нормативний медичний документ, а для утворення термів при відхиленні аналізу крові використовуються синтаксичні та семантичні правила. Взагалі вони як для жінок, так і для чоловіків мають однакову структуру, тому що синтаксичні правила, які породжують назви термів, практично не відрізняються. Як відомо, семантичні правила породжуються синтаксичними.

Наприклад, для чоловіків функцію належності «гемоглобін» можна задати (виходячи з нормативного медичного документу) [2]. Аналітичне та графічне надання має вигляд, представлений в табл. 3.

Наступні показники норми/ненорми («лейкоцити», «базофіли», «еозинофіли», «паличкоядерні», «сегментоядерні», «лімфоцити» та «моноцити») однакові як для чоловіків так і для жінок, функції належності та їх графіки побудови представляються аналогічно графікам, які наведено у табл. 2 та 3. Слід зауважити, що терм-множини представляються подібним чином і тому далі не наводяться.

Таблиця 2

Надання параметрів аналізу крові для жінок за допомогою ФН

№	Назва параметра	Програмна реалізація деяких графіків ФН	Аналітичне надання ФН
1	гемоглобін		$\mu_1 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 10 < x < 100 \\ -0,067x + 7,67, & \text{якщо } 100 < x < 115 \\ 0,05x - 5, & \text{якщо } 100 < x < 120 \\ 1, & \text{якщо } 120 < x < 140 \\ -0,05x + 8, & \text{якщо } 140 < x < 160 \\ 0,067x - 9,67, & \text{якщо } 145 < x < 160 \\ 1, & \text{якщо } 160 < x < 220 \end{cases}$
2	еритроцити		$\mu_2 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 1 < x < 1,7 \\ -x + 2,7, & \text{якщо } 1,7 < x < 2,7 \\ 0,43x - 0,57, & \text{якщо } 1,35 < x < 3,7 \\ 1, & \text{якщо } 3,7 < x < 4,0 \\ -0,5x + 3,35, & \text{якщо } 4,7 < x < 6,7 \\ x - 5,7, & \text{якщо } 5,7 < x < 6,7 \\ 1, & \text{якщо } 6,7 < x < 8,7 \end{cases}$
3	швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)		$\mu_3 = \begin{cases} x - 1, & \text{якщо } 1 < x < 2 \\ 1, & \text{якщо } 2 < x < 15 \\ -0,5x + 8,5, & \text{якщо } 15 < x < 17 \\ x - 16, & \text{якщо } 16 < x < 17 \\ -0,05x + 8, & \text{якщо } 140 < x < 160 \\ 1, & \text{якщо } 17 < x < 23 \end{cases}$

Таблиця 3

Надання параметрів аналізу крові для чоловіків за допомогою ФН

№	Назва параметра	Програмна реалізація деяких графіків ФН	Аналітичне надання ФН
1	гемоглобін		$\mu_1 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 10 < x < 100 \\ -0,067x + 8,33, & \text{якщо } 110 < x < 125 \\ 0,05x - 5,5, & \text{якщо } 110 < x < 130 \\ 1, & \text{якщо } 130 < x < 160 \\ -0,05x + 9, & \text{якщо } 160 < x < 180 \\ 0,067x - 11, & \text{якщо } 165 < x < 180 \\ 1, & \text{якщо } 180 < x < 220 \end{cases}$
2	еритроцити		$\mu_2 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 1 < x < 2 \\ -0,67x + 2,33, & \text{якщо } 2 < x < 3,5 \\ 0,8x - 2,2, & \text{якщо } 2,75 < x < 4 \\ 1, & \text{якщо } 4 < x < 5,1 \\ -0,5x + 3,35, & \text{якщо } 5,1 < x < 7,1 \\ x - 6,1, & \text{якщо } 6,1 < x < 7,1 \\ 1, & \text{якщо } 7,1 < x < 9,1 \end{cases}$
3	швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ)		$\mu_3 = \begin{cases} 2,86x - 1,86, & \text{якщо } 0,65 < x < 1 \\ 1, & \text{якщо } 1 < x < 10 \\ -0,2x + 3, & \text{якщо } 10 < x < 15 \\ 0,25x - 3,25, & \text{якщо } 13 < x < 17 \\ 1, & \text{якщо } 17 < x < 23 \end{cases}$

Як зазначалося раніше, в роботі використано медичні документи для прогнозування захворювання по аналізу крові. На їх базі формуються нечіткі правила, тобто створюється нечітка база правил. Використання такої бази дозволяє прогнозувати захворювання по аналізу крові.

Результатом роботи є спроектована інформаційна підсистема, яка розрахована на використання медиком-лаборантом та лікарем. У створеній інформаційній системі є можливість зберігання особистої інформації про пацієнтів та результатів їх аналізу крові. Система має розгалужені права доступу, тобто для середнього та вищого медичного персоналу. Лаборант безпосередньо працює з базою пацієнтів, а саме виконує: заповнення, внесення даних та результатів аналізу. Лікар має можливість аналізувати отримані результати. Роботу з базою даних пацієнтів представлено на рис. 1.

Сформувавати звіт можливо тільки при на-

явності результатів пацієнта. Доступ до процесу перегляду діагностування, що пропонує система, має тільки фахівець – лікар. Деякі звіти формуються тільки з порядковим номером бази даних пацієнтів. Останнє є необхідним для збереження конфіденційної інформації.

Наповненість бази даних, з якою працює медик-лаборант демонструє рис. 2. Очевидно, що за необхідності доступ до неї має і лікар.

Окремі фрагменти роботи програмного модуля, який на основі аналізу крові може виконати прогнозування захворювання пацієнта, надано на рис. 3. Зауважимо, що у даному випадку представлено частина вікна роботи підсистеми. Якщо відхилення від норми у пацієнта немає, то система видає значення функції належності рівним одиниці. У тих випадках, коли відхилення мають місце, то система надає степінь впевненості експерта, у якості значення від нуля до одиниці. Саме тут (у випадку відхилення) може спрацювати нечітка база правил та мож-

Параметр	Значення
ІД пацієнта	68
Гемоглобін (HGB)	130
Еритроцити (RBC)	5
Лейкоцити (WBS)	4,5
Базофіли (BAS)	0,7
Еозинофіли (EOS)	9
Палочкоядерні (BANDS)	0,2
Сегментоядерні (NEU)	3,5
Лімфоцити (LYM)	2,2
Моноцити (MON)	0,5
СОЭ (ESR)	10
Дата проходження аналіза	05.06.15

Рис. 1. Вікно підсистеми «Занесение результатов анализа пациента»

База данных результатов анализа пациентов

Поиск пациента

ID пациента:

Женщины  Мужчины

⏪ ⏩ ⏴ ⏵ ⏴ ⏵ ↻

ID пациента	Гемоглобин	Эритроциты	Лейкоциты	Базофилы	Эозинофилы	Палочкоядерные	Сегментоядерные	Лимфоциты	Моноциты	СОЭ	Дата прохождения анализа
54	155	4,8	6,2	0,47	9,1	0,27	3,3	2,3	0,3	8	01.04.2016
55	138	3,5	4,1	0,4	8	0,157	5,4	1,6	0,3	15	05.04.2016
56	165	4,4	6,9	0,47	9,7	0,23	3,8	2,9	0,5	13	05.04.2016
57	128	5,5	4,7	0,41	8	0,26	5,5	1,8	0,08	12	15.04.2016
58	135	4,9	6,9	0,57	8,7	0,23	3,5	1,9	0,2	10	15.04.2016
59	118	4,5	4,1	0,1	9	0,157	5,4	1,6	0,3	15	21.04.2016
60	155	4,4	6,9	0,47	5,7	0,23	3,8	2,9	0,5	8	21.04.2016
61	138	3,5	4,7	0,41	6	0,16	3,5	1,8	0,08	6	22.04.2016
62	155	4,9	6,9	0,57	7,7	0,15	3,5	1,9	0,5	4	25.04.2016
63	138	3,8	4,1	0,4	9,1	0,167	5,2	1,6	0,3	11	27.04.2016
64	130	4,4	6,9	0,47	6,7	0,055	3,8	2,9	0,5	6	08.05.2016
65	110	4,5	6,7	0,25	8	0,26	3,5	2,8	0,08	12	08.05.2016
66	145	4,9	6,6	0,47	8,7	0,1	0	3,2	1,9	3	08.05.2016
67	106	7	10	1,2	8,9	0,9	6,1	3,2	0,7	18	08.05.2016
68	130	5	4,5	0,7	9	0,2	3,5	2,2	0,5	10	05.06.2015

Рис. 2. Вікно підсистеми «База данных результатов анализа пациентов»

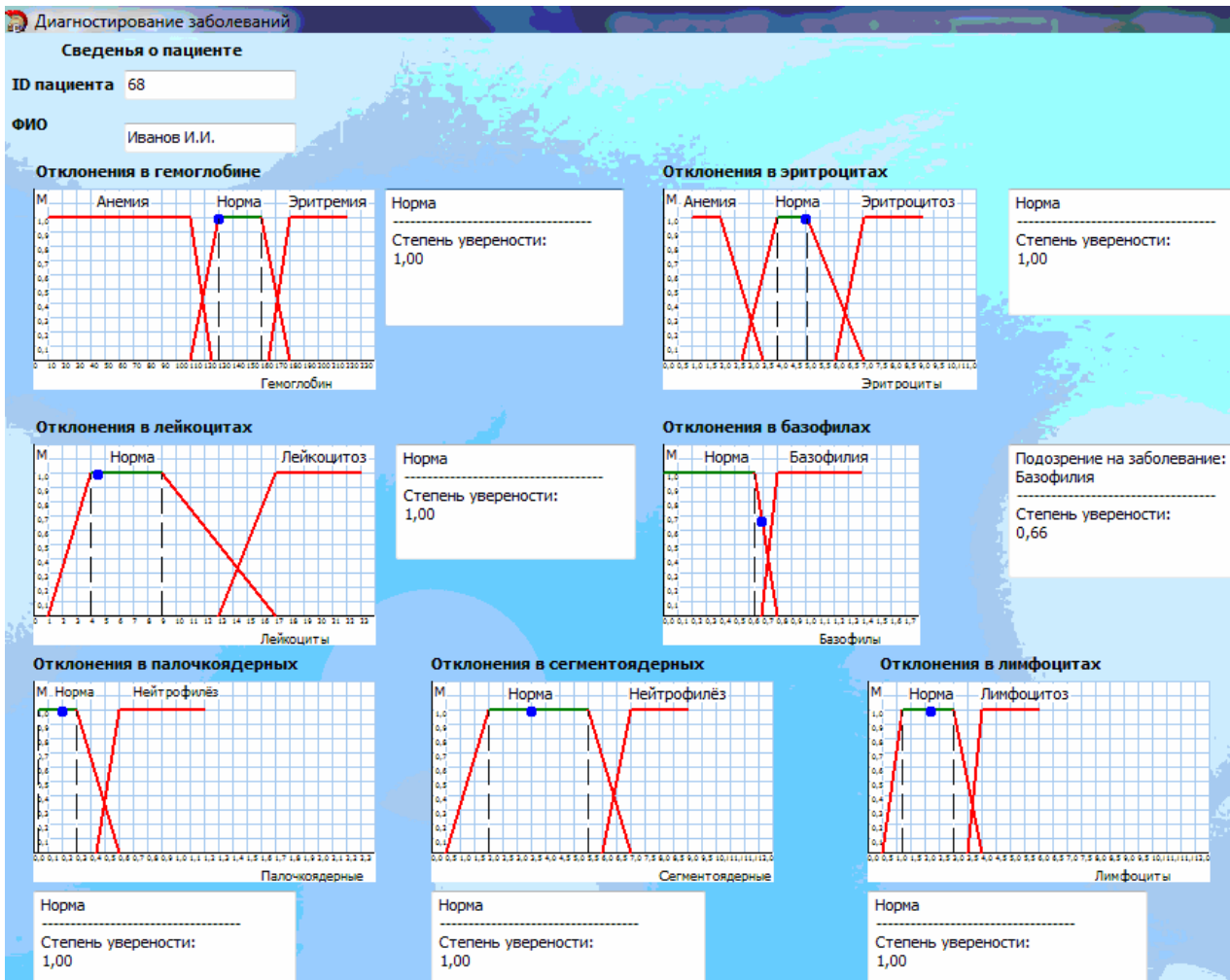


Рис. 3. Фрагмент вікна підсистеми «Диагностирование заболеваний»

<b>Результат проведения анализа: общий анализ крови</b>			
ID_пациента: 68		ФИО_пациента: Иванов И.И.	Пол: М
Показатель	Результат	Единицы измерения	Отклонение от нормы
Гемоглобин	130	г/л	Норма
Эритроциты	5	10 <sup>12</sup> клеток/л	Норма
Лейкоциты	4,5	10 <sup>9</sup> клеток/л	Норма
Базофилы	0,7	10 <sup>9</sup> клеток/л	Выше нормы
Эозинофилы	9	10 <sup>9</sup> клеток/л	Выше нормы
Палочкоядерные	0,2	10 <sup>9</sup> клеток/л	Норма
Сегментоядерные	3,5	10 <sup>9</sup> клеток/л	Норма
Лимфоциты	2,2	10 <sup>9</sup> клеток/л	Норма
Моноциты	0,5	10 <sup>9</sup> клеток/л	Норма
СОЭ	0,5	мм/час	Норма
<b>Примечание</b>			
Возможные заболевания:		Степень уверенности эксперта:	
Базофилия		0,66	
Эозинофилия		0,90	

Рис. 4. Вікно сформованого звіту зі ступенем впевненості експерта

ливо отримати прогнозоване захворювання, у тому числі, наприклад, з використанням лінгвістичних змінних.

Наступні фрагменти роботи програмного модуля демонструють відхилення від норми деяких показників аналізу крові та надають ступінь впевненості експерта про те, що те чи інше захворювання може бути у пацієнта. Лікар, який має доступ до інформаційної системи, може аналізувати отримані результати та приймати рішення відносно отриманих результатів. У тому випадку, коли результати аналізу мають відхилення, то автоматично формується звіт, який за згодою пацієнта надсилається йому електронною поштою.

Саме такі результати роботи інформаційної підсистеми діагностування наведено на рис. 4. Зауважимо, що у даному фрагменті мають місце відхилення у результаті аналізу крові, а саме прогнозується захворюваність базофілією та еозинофілією зі ступенем впевненості експерта відповідно 0,66 та 0,90.

#### **Висновки**

Формалізовано нечітку інформацію за до-

помогою теорії нечітких множин, а саме: показники аналізу крові записано за допомогою трапецієвидних функцій належності, ядром яких є дані медично-нормативного документа. Реалізовано можливість прогнозування захворювання пацієнта за аналізом крові, а саме: якщо вони виходять за норму, то за допомогою значень функції належності визначати ступінь впевненості експерта.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.
2. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Телеком, 2007. – 452 с.
3. Thomas S. V., Kurup J. R., Kuruvilla A. An expert system for the diagnosis of epilepsy: results of a clinical trial // Natl Med J India. – 2001. – №14 (5).– p.274-276.
4. Иванова Е.А., Короткая Л.И. Подсистема диагностирования заболеваний на основании анализа крови с при-

менением сетей Кохонена // Проблемы математического моделирования: материалы Всеукр. науч.-метод. конф., 25-27 трав. 2016 р. – Дніпродзержинськ: Біла К., 2016. – С.7-9.

5. Кішкун А.А. Руководство по лабораторным методам диагностики – М.: Медиа, 2007 – 800 с.

Надійшла до редакції 12.10.2017

#### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КРОВИ

*Иванова Е.А., Короткая Л.И.*

Для определения отклонений анализа крови используют нормативные медицинские документы, на основании которых определяется норма или не норма показателей. Предлагаются описывать те параметры, которые выходят за пределы нормативных медицинских документов с помощью функций принадлежности. В некоторых случаях используются лингвистические переменные, в частности, терм-множества «сильно», «не сильно» и др. Предложено для определенности использовать прямые экспертные методы построения функций принадлежности. В большинстве случаев выбрано и используются трапецевидные функции. Согласно прямым экспертным оценкам, они имеют интервальные границы изменения показателей, которые отклоняются от нормативных медицинских документов. Для аналитического задания функций принадлежности используется хранилище их параметров и интервалов, на которых могут варьироваться показатели, которые отклоняются от нормы. Данная информационная подсистема имеет базу данных пациентов и динамически обновляется. Информационная подсистема рассчитана на медицинских работников и имеет разветвленные права доступа. Так, например, медицинские сестры работают только с базой данных, а врачи имеют доступ ко всей системе. Созданная информационная подсистема является веб-ориентированной, поэтому реализована возможность обратной связи с пациентами. По их желанию, на электронную почту отправляются результаты анализа крови пациента. Причём, при отклонениях в результатах по конкретным параметрам выдаётся степень уверенности специалиста в том или ином заболевании. В работе на основе нормативных медицинских документов использовано и сформировано нечёткую базу правил медицинского диагностирования заболеваний по анализу крови. Созданную информационную подсистему можно считать интеллектуальной, так как использованы элементы вычислительного интеллекта, к которым, в частности, и относится теория нечётких множеств.

**Ключевые слова:** функции принадлежности, нечёткие множества, степень уверенности, медицинское диагностирование, интеллектуальная подсистема.

#### INTELLECTUAL SUBSYSTEM THAT IS USED TO DIAGNOSE DISEASES BY ANALYZING BLOOD

*Ivanova E.A., Korotka L.I.*

**Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine**

The work is devoted to the creation of an intellectual subsystem for diagnosing diseases by analyzing blood, the parameters of which may deviate from the norm and be described by interval values. In this paper, proposes to use elements of computational intelligence, in particular: the theory of fuzzy sets. To determine the deviations of the blood test, the normative medical documents are used, on the basis of which the norm or not the norm of the indicators is determined. It is proposed to describe those parameters that go beyond the limits of normative medical documents with the use of membership functions. In some cases, linguistic variables are used, in particular, the term sets are «very», «not very» and other. It is suggested to use direct expert methods of constructing membership functions for definiteness. In most cases, trapezoidal functions are selected and used. According to direct expert assessments, they have interval boundaries for changing indicators, which deviate from normative medical documents. For the analytical assignment of membership functions, the storage of their parameters and intervals is used, on which indicators that deviate from the norm can vary. This information subsystem has a patient database and is dynamically updated. The information subsystem is designed for medical workers and has ramified access rights. For example, nurses work only with a database, and doctors have access to the entire system. The created information subsystem is web-oriented, therefore the opportunity of a feedback with patients is realized. For their desire, the results of a patient's blood test are sent to the e-mail. Moreover, with deviations in the results of a blood test, the degree of confidence of a specialist in a particular disease is given. In the work on the basis of normative medical documents, a fuzzy base for the rules of medical diagnosis of diseases for blood analysis was used and formed. The created information subsystem can be considered intellectual, since elements of computational intelligence are used, to which, in particular, the theory of fuzzy sets belongs. The created information subsystem can be considered intellectual, since elements of computational intelligence are used, to which, in particular, the theory of fuzzy sets belongs.

**Keywords:** membership function, fuzzy sets, degree of assurance, medical diagnostics, intelligent subsystem.

#### REFERENCES

1. Kruglov V.V., Dli M.I., Golunov R.Ju. Nechetkaya logika i iskusstvennyie neyronnyie seti [Fuzzy logic and artificial neural network]. Fizmatlit, Moscow, 2001. 221 p. (in Russian).
2. Rutkovskaja D., Pilinskij M., Rutkovskij L. Neyronnyie seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: per. s polsk. I.D. Rudinskogo [Neural Networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Telekom, Moscow, 2007. 452 p. (in Russian).
3. Thomas S.V., Kurup J.R., Kuruvilla A. An expert system for the diagnosis of epilepsy: results of a clinical trial. Natl Med J India, 2001, vol. 14, no. 5, pp. 274-276.
4. Ivanova E.A., Korotkaja L.I. Podsystema diagnostirovaniya zabolovanij na osnovanii analiza krovi s primeneniem setej Kohonena. *International scientific and methodological conference «Mathematical Modelling Problems»*. Ukraine, Dniprodzerzhynsk, 2016. pp. 7-9. (in Russian).
5. Kishkun A.A. Rukovodstvo po laboratornym metodam diagnostiki [Guide to laboratory diagnostic methods]. Media, Moscow, 2007. 800 p. (in Russian).