

*О.М. ШУШУРА*, канд. техн. наук, доц., ДонНТУ, Покровськ  
(Красноармійськ),  
*А.Ю. ТІТОВА*, асп., ДонНТУ, Покровськ (Красноармійськ)

## **РОЗРОБКА МОДЕЛІ АНАЛІЗУ ТЕРМОГРАМ МОЛОЧНИХ ЗАЛОЗ ЖІНОК НА ЗАСАДАХ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

Запропоновано новий підхід до аналізу характеристик термограм молочних залоз (МЗ) жінок під час діагностики онкологічних захворювань. Формалізовані вхідні та вихідні лінгвістичні змінні моделі аналізу кількісних та візуальних характеристик термограм МЗ на засадах нечіткої логіки, сформована її база знань та обрано алгоритм нечіткого виводу, перевірена адекватність моделі. Іл.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** термограма молочних залоз, онкологічні захворювання, нечітка логіка.

**Постановка проблеми.** Створення засобів діагностики онкологічних захворювань молочних залоз (МЗ) у жінок є важливою науково-технічною задачею. Одним з напрямів розв'язку цієї задачі є розробка інформаційних технологій для проведення аналізу термограм МЗ [1]. У загальному випадку термограма – це температурна карта ділянки тіла або всього тіла, представлена у вигляді зображення. Об'єктом дослідження у даній роботі є процес аналізу термограм МЗ жінок з метою постановки попереднього діагнозу. Для організації масового скринінгу пацієнтів актуальною проблемою є автоматизація аналізу кількісних та візуальних характеристик термограм МЗ з метою визначення ознак захворювань.

**Аналіз літератури.** Сучасні системи діагностики захворювань МЗ на основі термографії працюють з використанням знань експертів, ґрунтуються на розрахунку кількісних показників та оцінці візуальних характеристик термограм [2]. До кількісних оцінок відносять пошук середньої температури МЗ [2, 3]; мінімального та максимального значення температури МЗ [2, 3]; коефіцієнту асиметрії температурного розподілу кожної МЗ та коефіцієнту ексцесу кожної МЗ [2]; розрахунок залежності щільності мікросудин та їх підвищеної температури при захворюванні МЗ [4]. Проводять мультифрактальний аналіз на основі спектра сингулярностей, розрахунок показника Гельдера та вейвлет аналіз на основі метода максимумів модулів вейвлет-перетворень [5]. До візуальних характеристик слід віднести кореляцію між щільністю мікросудин та градієнтом температури на ділянці пухлини [4]; виділення меж аномальних зон та методи для виділення областей інтересу [6]. Крім того, в [7] запропоновані підходи до створення 4D тепловізійної системи для медичного використання. Під час аналізу термограм розраховують

статистичні показники, асиметричні діагностичні ознаки, виділяють границі зон гіпертермії, а експерт робить висновок, яке саме захворювання відповідає цим даним.

Загальним недоліком розглянутих підходів є те, що їх використання потребує у значній мірі участі експертів. Це збільшує час на проведення аналізу термограм та підвищує його вартість. Можливим напрямком подолання зазначеного недоліку є розробка моделі аналізу термограм МЗ на засадах нечіткої логіки, яка широко застосовується у задачах моделювання інтелектуальної діяльності людини [8].

**Мета дослідження** – розробка моделі аналізу кількісних та візуальних характеристик термограм МЗ на засадах нечіткою логіки для створення можливостей підвищення автоматизації визначення ознак захворювань.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- формалізувати вхідні та вихідні змінні моделі;
- визначити функції належності лінгвістичних змінних;
- сформулювати нечітку базу знань;
- обрати алгоритм нечіткого логічного виводу;
- провести дослідження адекватності моделі.

**Матеріали дослідження.** Вихідними даними для постановки попереднього діагнозу є: відомості про стан пацієнта, термограма (рис. 1), набір температурних показників МЗ, результати розрахунку кількісних та візуальних характеристик термограм [9, 10], такі як: середня різниця температур, максимальна локальна асиметрія, площа ділянки гіпертермії.

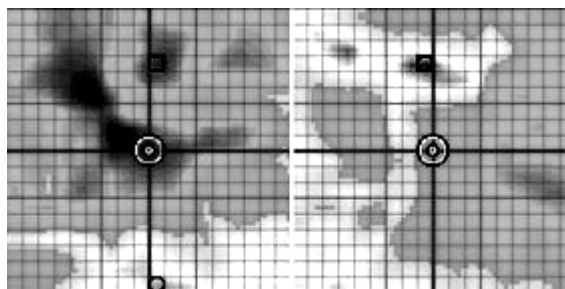


Рис. 1. Термограми з патологією в лівій МЗ

Для аналізу термограми необхідно розробити нечітку модель, яка представляє собою функціональну залежність виду:

$$f : \bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \rightarrow Y, \quad (1)$$

де  $\bar{X}$  – вектор вхідних лінгвістичних змінних, які містять діагностичні ознаки захворювань МЗ.

Спрощений опис лінгвістичних змінних вектору  $\bar{X}$  наведено далі:

$x_1$  – біль в МЗ, терми якої: "немає", "слабка", "рідко", "локалізована", "періодична", "сильна", "дуже сильна";

$x_2$  – температура тіла пацієнта з термами: "норма", "підвищена", "висока";

$x_3$  – зміни шкіри МЗ, терми якої: "відсутня", "локальне почервоніння", "почервоніння", "велике почервоніння", "почервоніння та лущення";

$x_4$  – виділення з сосків МЗ, де терми: "нормального характеру", "зеленуваті", "кров'яні", "жовті";

$x_5$  – форма новоутворення з термами: "не пальпується", "вузлова", "неправильна", "гладка кулька", "значно неправильна", "майданчик";

$x_6$  – середня різниця температур МЗ з термами: "в межах норми" ( $MN$  – на рис. 2.), "ледь вище норми" ( $LVN$ ), "вище норми" ( $VN$ ), "дуже вище норми" ( $DVN$ ), "перевищення норми" ( $PN$ ), "велике перевищення норми" ( $VPN$ );

$x_7$  – різниця температур симетричних позицій, терми котрої: "граничні" ( $G$  – на рис. 3.), "ледь вище граничних" ( $LVG$ ), "вище граничних" ( $VG$ ), "дуже вище граничних" ( $DVG$ ), "перевищення граничних" ( $PG$ ), "велике перевищення граничних" ( $VPG$ );

$x_8$  – максимальне локальне перевищення температури правої МЗ, де терми: "нормальне", "незначне", "незначно більше", "більше", "значно більше";

$x_9$  – максимальне локальне перевищення температури лівої МЗ з термами: "нормальне", "незначне", "незначно більше", "більше", "значно більше";

$x_{10}$  – максимальна локальна асиметрія, її терми: "не зазначена", "дуже маленька", "маленька", "середня", "велика", "дуже велика";

$x_{11}$  – площа гіпертермії, де терми: "межова", "більше межової", "більша", "найбільша", "менш максимальна", "максимальна";

$x_{12}$  – колір гіпертермії з термами: "зелений", "жовтий", "помаранчевий", "червоний";

$Y$  – вихідна змінна, значення якої відповідає певному захворюванню МЗ.

Вихідна лінгвістична змінна  $Y$  – попередній діагноз, що містить терми: "Нормотермограма", "Вузлова форма раку", "Дифузна форма раку", "Кіста", "Мастопатія", "рак Паджета", "Мастиподібна форма раку", "Мастит".

Функції належності термів обрано на основі метода комісії та статистичної обробки експертних даних. У якості прикладу на рис. 2, 3 наведені функції належності термів змінних:  $x_6$  – середньої різниці температур МЗ та  $x_7$  – різниці температур симетричних позицій, де по осі  $X$  – значення інтервалів відповідних термів, по осі  $Y$  – значення функції належності.

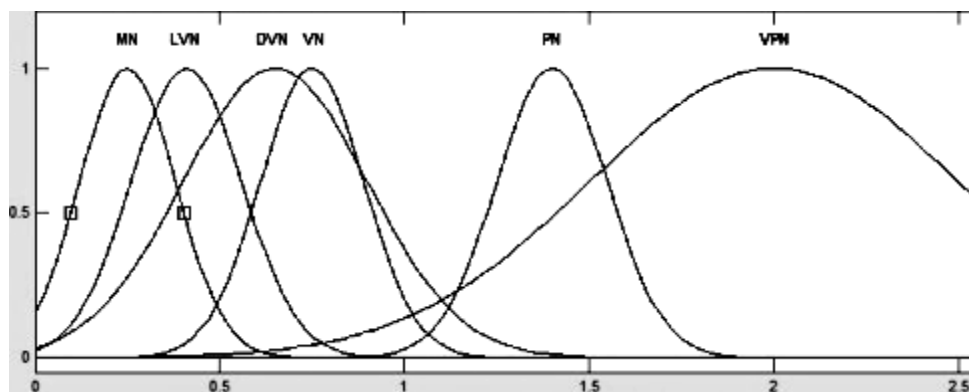


Рис. 2. Функції належності термів змінної  $x_6$

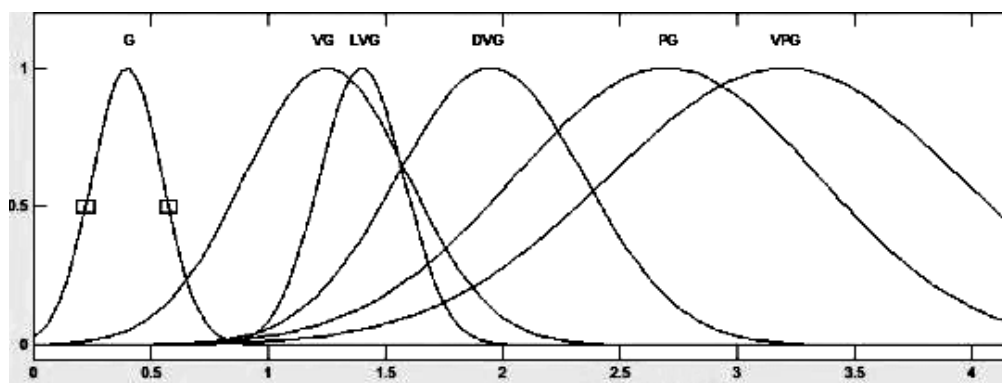


Рис. 3. Функції належності термів змінної  $x_7$

На основі формалізованих лінгвістичних змінних сформована нечітка база знань у вигляді системи нечітких продукцій. У якості прикладу деякі правила наведені далі:

ЯКЩО  $x_1$  = "немає" І  $x_2$  = "норма" І  $x_3$  = "відсутня" І  $x_4$  = "нормального характеру" І  $x_5$  = "не пальпується" І  $x_6$  = "в межах норми" І  $x_7$  = "граничні" І  $x_8$  = "нормальне" І  $x_9$  = "нормальне" І  $x_{10}$  = "не зазначена" І  $x_{11}$  = "межова" І  $x_{12}$  = "зелений" ТО  $y$  = "Нормотермограма";

ЯКЩО  $x_1$  = "слабка" І  $x_2$  = "норма" І  $x_3$  = "відсутня" І  $x_4$  = "зеленуваті" І  $x_5$  = "вузлова" І  $x_6$  = "перевищення норми" І  $x_7$  =

"перевищення граничних" І  $x_8$  = "значно більше" І  $x_9$  = "значно більше" І  $x_{10}$  = "велика" І  $x_{11}$  = "найбільша" І  $x_{12}$  = "жовтий" ТО  $y$  = "Вузлова форма раку";

ЯКЩО  $x_1$  = "рідко" І  $x_2$  = "висока" І  $x_3$  = "локальне почервоніння" І  $x_4$  = "нормального характеру" І  $x_5$  = "неправильна" І  $x_6$  = "велике перевищення норми" І  $x_7$  = "велике перевищення граничних" І  $x_8$  = "незначне" І  $x_9$  = "більше" І  $x_{10}$  = "дуже велика" І  $x_{11}$  = "максимальна" І  $x_{12}$  = "жовтий" ТО  $y$  = "Дифузна форма";

ЯКЩО  $x_1$  = "сильна" І  $x_2$  = "норма"  $x_3$  = "почервоніння" І  $x_4$  = "кров'яні" І  $x_5$  = "майданчик" І  $x_6$  = "дуже вище норми" І  $x_7$  = "вище граничних" І  $x_8$  = "нормальне" І  $x_9$  = "незначне" І  $x_{10}$  = "середня" І  $x_{11}$  = "більше межової" І  $x_{12}$  = "жовтий" ТО  $y$  = "рак Паджета";

ЯКЩО  $x_1$  = "дуже сильна" І  $x_2$  = "висока" І  $x_3$  = "почервоніння" І  $x_4$  = "зеленуваті" І  $x_5$  = "вузлова" І  $x_6$  = "ледь вище норми" І  $x_7$  = "ледь вище граничних" І  $x_8$  = "незначно більше" І  $x_9$  = "незначно більше" І  $x_{10}$  = "маленька" І  $x_{11}$  = "більша" І  $x_{12}$  = "жовтий" ТО  $y$  = "Мастит".

Нечіткий логічний вивід, що здійснюється на наведеній базі правил, містить етапи:

- розрахунок значень функцій належності термів, що входять в антецеденти правил;
- обчислення на основі нечіткої логічної кон'юнкції значень антецедентів правил;
- розрахунок значень функцій належності термів вихідної змінної як нечіткої логічної диз'юнкції антецедентів правил, у яких терм є в консеквентні.

В нечіткій моделі використано метод логічної кон'юнкції за мінімальним значенням в умовах нечітких правил, та метод логічної диз'юнкції за максимальним значенням.

Результатом нечіткого виводу є множина термів та розрахованих значень їх функцій належності. У якості основного попереднього діагнозу обирається терм з максимальним значенням функції належності.

Для перевірки адекватності моделі здійснювалося порівняння результатів моделювання з висновками експерта по 52 термограмам.

З метою чисельної оцінки адекватності моделі в базі знань використані константи, що відповідають термам лінгвістичної змінної, а саме  $y$  = [0 – Нормотермограма; 0.1 – Вузлова форма раку; 0.2 – Дифузна форма раку; 0.4 – Кіста; 0.5 – Мастопатія; 0.6 – рак Паджета; 0.7 – Мастиподібна форма раку; 0.9 – Мастит]. Потім був проведений нечіткий логічний вивід за алгоритмом Сугено з зазначеною вище реалізацією нечіткої логічної кон'юнкції та диз'юнкції, для дефазифікації застосовано метод зваженого середнього. Отримані результати зображені на рис. 4.

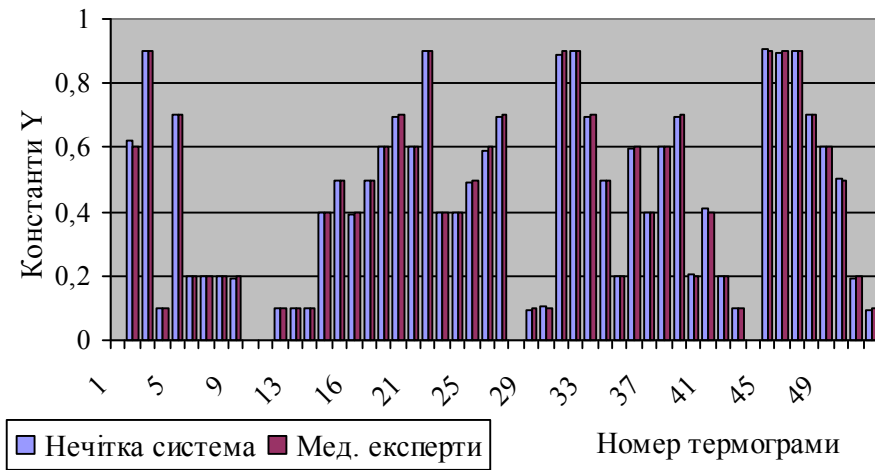


Рис. 4. Порівняння роботи нечіткої моделі та висновків мед. експертів

Для оцінки адекватності моделі використано критерій:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (y_i - me_i)^2}, \quad (2)$$

де  $y_i$  – значення вихідного результату нечіткої системи для даної термограми;  $me_i$  – значення висновку медичного експерта для даної термограми;  $l$  – кількість термограм, що обираються для аналізу.

В результаті дослідження 52 термограм значення критерія становило 0,000018, що свідчить про адекватність моделі.

**Висновки.** В даному дослідженні формалізовані вхідні та вихідні лінгвістичні змінні моделі аналізу кількісних та візуальних характеристик термограм МЗ на засадах нечіткою логіки, сформована її база знань та обрано алгоритм нечіткого виводу. Результати перевірки адекватності моделі свідчать про те, що вона може бути використана при створенні інформаційних технологій для проведення масового скринінгу населення на основі термограм з метою своєчасного виявлення захворювань МЗ на ранніх стадіях та збільшення ефективності діагностування та лікування в цілому.

**Список літератури:** 1. Тітова А.Ю. Методи сегментації термограм під час діагностики онкологічних захворювань молочної залози / А.Ю. Тітова, О.М. Шушура // Наукові праці ДонНТУ. – Красноармійськ, 2015. – № 1. – С. 89-96. 2. Приходченко В.В. Можливості контактної цифрової термографії у ранній доклінічній діагностиці раку молочної залози / В.В. Приходченко // ОНКОЛОГИЯ. – 2011. – № 2 – С. 125-129. 3. Kolaric D. Thermography – a feasible method for screening breast cancer / D. Kolaric // Coll. Antropol, 2013. – № 2. – P. 583-588. 4. Toshiro Y. Relationship between microvessel

density and thermographic hot areas in cancer / *Y. Toshiro* // *Surgery Today*, 2003. – № 33. – P. 243-248. **5.** *Герасімова Є.І.* Мультифрактальний аналіз динаміки поверхневої температури молочних залоз і його використання для діагностики раку молочної залози: автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук: 03.01.02 – Біофізика / *Герасімова Євгенія Ігорівна*. – 2014. – 19 с. **6.** *Бехтір О.В.* Підвищення візуальної інформативності термограм у оптоелектронних системах тепловізійної медичної діагностики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.20 – оптоелектронні системи / *Бехтір Олена Володимирівна*. – К., 2006. – 21 с. **7.** *Skala K.* 4D thermal imaging system for medical applications / *K. Skala* // *Periodicum biologorum*. – 2011. – № 4. – P. 407-416. **8.** *Штовба С.Д.* Введення в теорію нечітких множин і нечітку логіку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>. – Дата доступу: квітень 2016. – Заголовок з екрану. **9.** *Тітова А. Ю.* Апаратні та програмні складові первинної діагностики онкологічних захворювань молочної залози на основі термографії / *А.Ю. Тітова, О.М Шущура* // Збірка праць V Міжнародної міжвузівської школи-семінару "Методи і засоби діагностики в техніці – 2015". – Івано-Франківськ, 2015. – С. 98-101. **10.** *Titova A.Yu.* Fuzzy model thermal image analysis for detection breast cancer in women`s / *A.Yu. Titova* // *AIST-2016* – Sumy, 2016. – P. 83-85.

#### **References:**

1. Titova, A.Yu., Shushura, A.N. (2015), "Segmentation methods of thermograms in the breast cancer diagnosis", *Scientific works of DonNTU*, No. 1, pp. 89 – 96.
2. Prikhodchenko V.V. (2011), "Potentialities of contact digital thermography in early preclinical diagnostics of breast tumor", *ONCOLOGY*, No. 2, pp. 125 – 129.
3. Kolaric, D. (2013), "Thermography – a feasible method for screening breast cancer", *Coll Antropol*, No. 2, pp. 583 – 588.
4. Toshiro, Y. (2003), "Relationship between microvessel density and thermographic hot areas in cancer", *Surgery Today*, No. 33, pp. 243 – 248.
5. Gerasimova, E.I. (2014), *Multifractal analysis of the dynamics surface temperature of the breast and use for the diagnosis of breast cancer, Author's thesis*, Perm, 19 p.
6. Bekhtir, O.V. (2006), *Increasing of the visual informativeness for thermograms in optoelectronic systems by thermal-vision medical diagnostics, Author's thesis*, Kiev, 21 p.
7. Skala, K., (2011), "4D thermal imaging system for medical applications", *Periodicum biologorum*, No. 4, pp. 407 – 416.
8. Shtovba, S.D. (2001), "Introduction to Theory and fuzzy multitude fuzzy logic" available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (Accessed 4 April 2016).
9. Titova, A.Yu., Shushura, A.N. (2015), "Hardware and program components of primary diagnosis oncological breast diseases on the basis of the thermal visualization", *Proceedings of the V International Interuniversity school-seminar "Methods and diagnostic tools in technology – 2015"*, Ivano-Frankivsk, Ukraine, pp. 98 – 101.
10. Titova, A.Yu. (2016), "Fuzzy model thermal image analysis for detection breast cancer in women`s", *AIST-2016, May, 2016*, Sumy, Ukraine, pp. 83 – 85.

*Надійшла (received) 12.05.2016*

*Статтю представив д-р техн. наук, проф. ДонНТУ Федоров Є.Є.*

Shushura Oleksiy Mykolayovych, Cand. Sci. Tech.  
Donetsk National Technical University  
Square Shybankova, 2, Krasnoarmiysk, Donetsk region, Ukraine, 85300  
Tel.: (050) 470-15-67, e-mail: [leshu@i.ua](mailto:leshu@i.ua)  
ORCID ID: 0000-0003-3200-720X

Titova Anastasiya, Postgraduate  
Donetsk National Technical University  
Square Shybankova, 2, Krasnoarmiysk, Donetsk region, Ukraine, 85300  
Tel.: (095) 333-51-01, e-mail: a.titova.wk@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0002-4803-2090



УДК 004.896

**Розробка моделі аналізу термограм молочних залоз жінок на засадах нечіткої логіки / Шушура О.М., Тітова А.Ю. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 21 (1193). – С. 184 – 192.**

Запропоновано новий підхід до аналізу характеристик термограм молочних залоз жінок під час діагностики онкологічних захворювань. Формалізовані вхідні та вихідні лінгвістичні змінні моделі аналізу кількісних та візуальних характеристик термограм МЗ на засадах нечіткої логіки, сформована її база знань та обрано алгоритм нечіткого виводу, перевірена адекватність моделі. Ил.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** термограма молочних залоз, онкологічні захворювання, нечітка логіка.

УДК 004.896

**Разработка модели анализа термограмм молочных желез женщин на основе нечеткой логики / Шушура А.Н., Титова А.Ю. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 21 (1193). – С. 184 – 192.**

Предложен новый подход к анализу характеристик термограмм молочных желез женщин во время диагностики онкологических заболеваний. Формализованы входные и выходные лингвистические переменные модели анализа количественных и визуальных характеристик термограмм МЗ на основе нечеткой логики, сформирована ее база знаний и выбран алгоритм нечеткого вывода, проверена адекватность модели. Ил.: 4. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** термограмма молочных желез, онкологические заболевания, нечеткая логика.

UDC 004.896

**Development of model analysis of thermal images breast women based on fuzzy logic / Shushura A.N, Titova A.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2016. – № 21 (1193). – P. 184 – 192.**

A new approach to analyzing the characteristics of thermal image breasts of women in the diagnosis of cancer was proposed. Input and output linguistic variables of model analysis of quantitative and visual characteristics of thermal image breast based on fuzzy logic were formalized, fuzzy knowledge base was formed and fuzzy inference algorithm was selected, the adequacy of the model was tested. Figs.: 4. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** thermal image breast, cancer, fuzzy logic.