

# НЕЧІТКА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ МОЛОЧНОЇ ЗАЛОЗИ НА ОСНОВІ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Л.О. Дубчак<sup>1</sup>, С.О. Вербовий<sup>1</sup>, Н.А. Максимів<sup>1</sup>, Т.В. Дацко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тернопільський національний економічний університет,

вул. Львівська, 11, м.Тернопіль, 46020, Україна; e-mail: dlo@tneu.edu.ua

<sup>2</sup> Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського,  
майдан Волі, 1, м.Тернопіль, 46001, Україна; e-mail: datskotv@gmail.com

Розповсюдженість раку молочної залози посідає перше місце в структурі онкологічних захворювань жінок. Експертна постановка діагнозу таких патологічних станів базується на якісних показниках аналізу гістологічних зображень, тому розробка засобів їх опрацювання дозволяє зробити процес постановки правильного діагнозу швидшим та точнішим для експерта. У даній статті запропоновано нечітку систему діагностування передракових та ракових станів молочної залози, що базується на ознаках, отриманих від лікаря-діагноста. Розроблена система може застосовуватися в онкології, що дозволить здійснювати постановку діагнозу в реальному часі та виключаючи суб'єктивний характер постановки діагнозу лікарем.

**Ключові слова:** нечітка логіка, нечітка система, гістологічне зображення, молочна залоза, передракові стани, діагноз

## Вступ

Рак молочної залози в Україні, так само, як і в більшості країн світу, з кожним роком розповсюджується і на сьогоднішній день посідає одне із передових місць в базі захворюваності і смертності від злоякісних новоутворень серед жінок (25% від усіх випадків раку). В Україні рак молочної залози є однією з основних медико-соціальних проблем сучасної системи охорони здоров'я внаслідок значної поширеності та високого рівня інвалідності та смертності від нього [1, 2].

Визначення діагнозу базується на достовірних показниках синтезу гістологічних зображень, а оцінка передракових станів зазвичай ґрунтується на кількісних ознаках.

Розповсюдженість програмних засобів опрацювання гістологічних зображень допускає створення процесу утвердження точного діагнозу найшвидшим та найточнішим для експерта. Для постановки точного діагнозу, базуючись на якісних ознаках зображень, виключаючи суб'єктивність суджень експерта, варто використати апарат нечіткої логіки. Нечіткі системи можуть оперувати вхідною інформацією, яка задана нечітко, наприклад, словесно, лікарем-експертом, здійснювати нечіткі формалізації критеріїв оцінки і порівняння, проводити якісні оцінки вхідних даних і виведених результатів за їхнім ступенем вірогідності та розподілом, проводити швидке моделювання складних динамічних систем і їхній порівняльний аналіз із заданим ступенем точності. Такий підхід дозволить побудувати систему постановки діагнозу патологічних станів молочної залози, яка працюватиме в режимі реального часу та буде здатною до швидкого переналаштування.

## Основна частина

Нечіткі множини зазначаються через певну базову шкалу  $B$  і функцію належності  $\mu(x)$ ,  $x \in B$ , яка набуває значення на інтервалі  $[0...1]$ . Таким чином, нечітка множина  $B$  – сукупність пар типу  $(x, \mu(x))$ , де  $x \in B$ . Часто зустрічається такий запис:

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\mu(x_i)}, \quad (1)$$

де  $x_i$  –  $i$ -те значення базової шкали.

Функція належності визначає суб'єктивний степінь впевненості експерта в тому, що дане конкретне значення базової шкали відповідає значенню нечіткої множини.

Задання продукційних правил базується на визначенні таких нечітких правил, щоб побудований на їх основі модуль керування при одержанні вхідних сигналів генерував певні вихідні сигнали. Через це потрібно розділити простір вхідних і вихідних сигналів на множини та задати відповідні для них функції належності; записати нечіткі правила на базі експериментальної вибірки, створити таблицю для запису бази продукційних правил та таблицю істинності правил (присутність або відсутність ознак); надати усім правилам степінь істинності та згенерувати відповідні правила, сформулювати базу нечітких правил.

Нечітке моделювання в середовищі Matlab відбувається на основі застосування пакету розширень Fuzzy Logic Toolbox, в якому представлена велика кількість функцій нечіткої логіки і нечіткого виводу [3].

При нечіткому моделюванні зазвичай застосовують апарат нечіткого висновку Мамдані, в якому база знань складається з правил виду: «якщо, то». Нечіткі моделі на основі такого підходу є доступними, їх будова змістовно трактується в термінах, зрозумілих як розробникам з високою математичною кваліфікацією, так і замовникам – лікарям, економістам, менеджерам. Доступність нечітких моделей Мамдані – одна з найголовніших переваг, адже завдяки нечіткій логіці вони успішно конкурують з іншими методами, особливо для тих прикладних задач, де можливість змістовної інтерпретації важливіша точності моделювання [4-7].

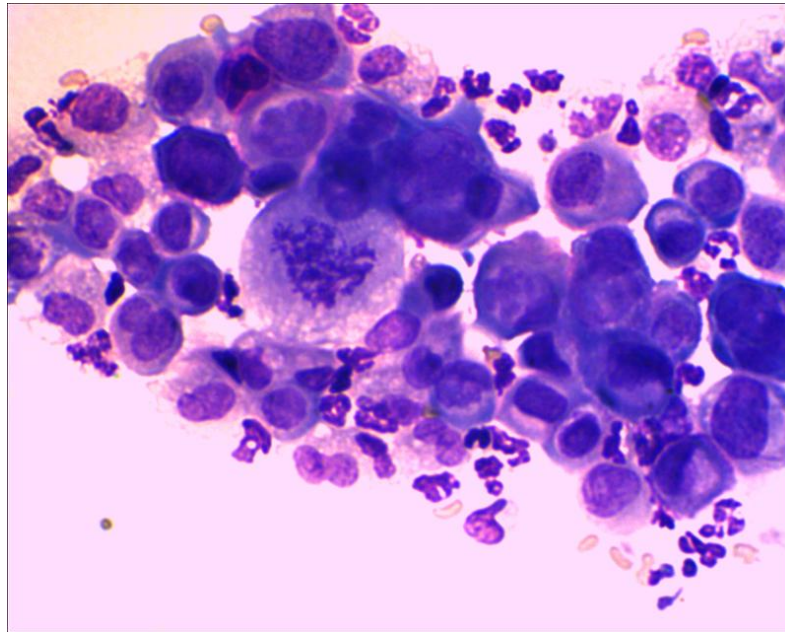
В якості експериментальних досліджень використано тестову вибірку гістологічних зображень, отриману від експерта. Вхідними змінними є геометричні ознаки даних зображень [8].

Гістологічні зображення – це зображення зрізів біологічної тканини, як показано на рис. 1.

У гістології використовуються різні способи проведення експериментів, які дають змогу різносторонньо аналізувати процеси прогресу, побудови і функціонування мікрооб'єктів, матерій та органів. Найважливішими кроками гістологічного синтезу є селекція об'єктів експерименту, процес підготовки його для вивчення в мікроскопі та використання способів мікрокопіювання.

Діагностика передракових станів, як правило, вимагає саме біомедичних експериментів. Зібрання гістологічних зрізів – один із найточніших методів контролювання якостей досліджень.

Синтез злоякісних утворень на базі біомедичних зображень здійснюється наглядно, що є вагомим, проте не вирішальним, адже для всебічного опису утворень необхідні кількісні ознаки, що одержуються методом числового морфометричного синтезу, що знижує суб'єктивність експерта.



**Рис. 1.** Гістологічне зображення

Для задання якісних ознак необхідно підсумувати досвід експерта-морфолога: логічні дерева рішень, опис клітини та постановки діагнозу. Описові знання дозволено задавати у формі особливої онтології опису клітин, котра вміщає усі дані про ракові клітини. Відлагодження та послідовна онтологія налічується з всіх вказаних морфологічних ознак, котрі досліджуються в окремий спосіб. Морфологічні показники мають задаватись і «замірятись» підсвідомо таким чином, щоб онтологія використовувалась для автоматичного і для ручного морфологічного дослідження.

Вихідна змінна формується з умовиводів фахівця на базі вхідних змінних про наявність виявлення діагнозу та складається з п'яти нечітких множин, а саме: проліферативна мастопатія (proliferative breast disease), непроліферативна мастопатія (nonproliferative breast disease), фіброаденома (fibroadenoma), внутрішньопротоковий та інвазивний рак (intraductal and invasive cancer).

Функції належності пропонованої нечіткої системи засновані на одержаних фахівцем знаннях з ознак передракових та ракових діагнозів. Наприклад, діагностування внутрішньопротокового раку відбувається на основі наявності таких ознак:

- поліморфізм клітин;
- різке збільшення розмірів клітин;
- атипові мітози;
- накопичування пухлинних клітин в просвітах протоків;
- поодинокі некрози клітин;
- клітини не інфільтрують через базальну мембрану протоків.

Інвазивний рак, в свою чергу, може діагностуватися, якщо на гістологічному зображенні лікар-експерт відмітить:

- різке збільшення розмірів клітин;
- поліморфізм клітин;
- атипові мітози;
- інвазивний ріст в навколишню тканину (в жирову клітковину);
- стертість базальних мембран;
- проникнення пухлинних клітин через базальну мембрану;
- наявність мікроальвеолярних або тубулярних структур;

- множинні некрози клітин;
- мікрокальцифікації.

Ознаки діагностування фіброаденоми:

- проліферація альвеол;
- проліферація внутрішньодолькових протоків;
- наявність рихлої базофільної сполучної тканини;
- наявність грубої оксифільної сполучної тканини;
- протоки вистелені епітелієм та міоепітелієм різного функціонального стану;
- мікроепітелій (видовжені темні клітини, або світлі із шаровидними включеннями);
- формування химерних залозистих структур;
- гіаліноз сполучної тканини та атрофія епітелію.

Ознаки, які підтверджують діагноз непроліферативної мастопатії, наступні:

- мілкі кісти із альвеол однієї дольки;
- кісти розташовуються гніздами;
- кістозно розширені протоки;
- гіаліноз сполучної тканини;
- проліферація сполучної тканини;
- метаплазія темного епітелію в блідий (світлий);
- наявність великої кількості сполучної тканини навколо залоз і протоків

свідчить про їх атрофію;

- утворення псевдососочків;
- атрофія залозистих ділянок і утворення кіст.

Ознаки діагностування проліферативної мастопатії:

- проліферація міоепітелію та ендотелію дрібних протоків;
- розширення між часточкових протоків;
- проліферація дрібних протоків і альвеол;
- незначна частинна строма;
- відсутня базальна мембрана;
- проліферуючі міоепітеліальні клітини переміщуються у внутрішню часточкову сполучну тканину і стають схожі на гладенькі м'язи.

Використовуючи навчальну вибірку гістологічних зображень та їхні якісні ознаки необхідно побудувати функції належності.

Для побудови нечіткої системи постановки діагнозу патологічних станів молочної залози використано засіб FuzzyLogicToolbox середовища Matlab. Якісні ознаки виступають входними даними, а вихідними – поставлений діагноз (рис. 2).

Вхідні дані, якими виступають описані вище ознаки патологічних станів, задаються у вигляді дзвоноподібної функції належності. Варто зазначити, що усі вхідні змінні можуть бути лише присутні або відсутні на гістологічному зображенні, тому вони задаються нечіткими множинами, поданими на рис. 3.

Вихідні дані виступають власне діагнозом, отриманим з продукційних правил, тому вони матимуть вигляд трикутної функції належності, як зображено на рис. 4.

Продукційні правила є невід'ємною частиною бази знань. Кожне продукційне правило відображає окрему частину знань, отриманих від експерта. Продукційні правила можна модифікувати як окрему одиницю незалежно від інших правил.

В медичній експертній системі такі правила використовуються для встановлення зв'язків між симптомами, чи якісними ознаками, та діагнозом.

В запропонованій нечіткій системі є 187 продукційних правил, частина яких показана на рис. 5.

Перевірка роботи нечіткої системи здійснюється шляхом аналізу бази продукційних правил (рис. 6).

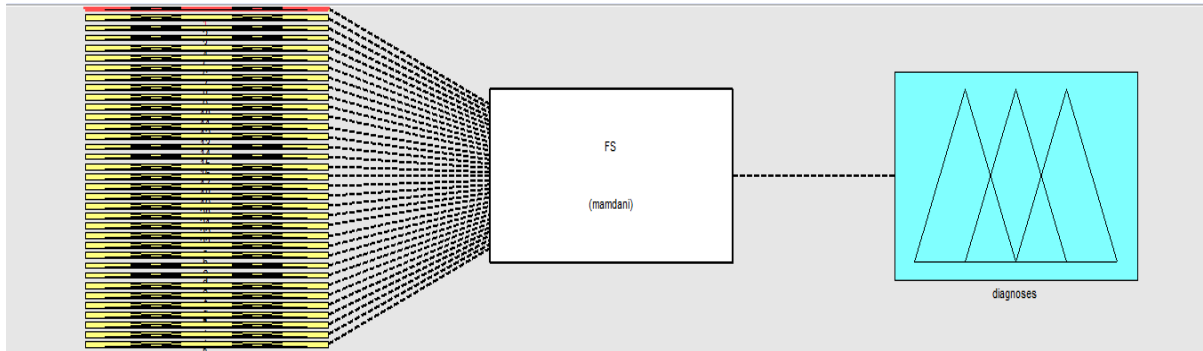


Рис. 2. Схема розробленої нечіткої системи в редакторі «Fuzzy Logic Toolbox»

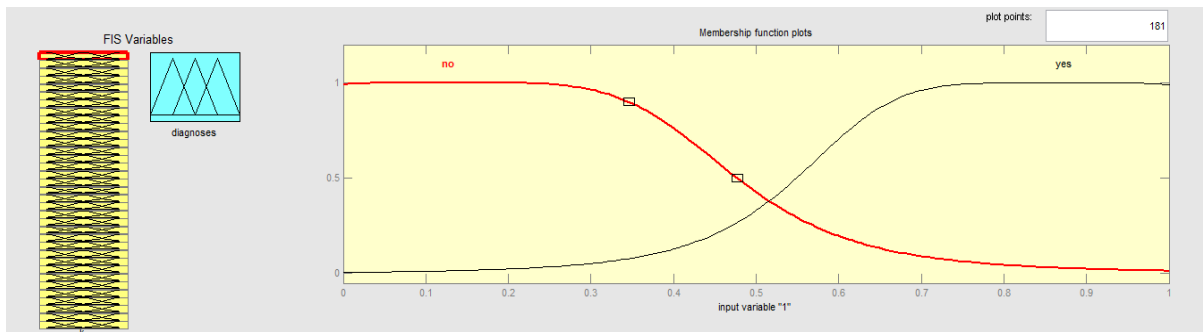


Рис. 3. Функції належності вхідних змінних нечіткої системи постановки діагнозу

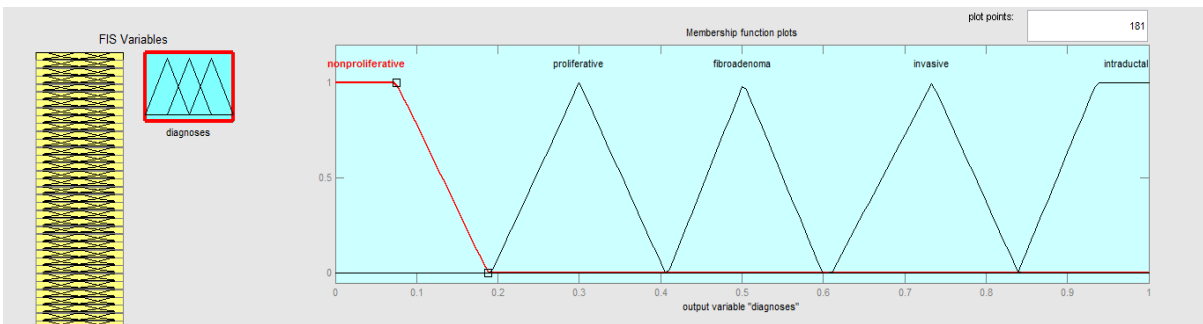
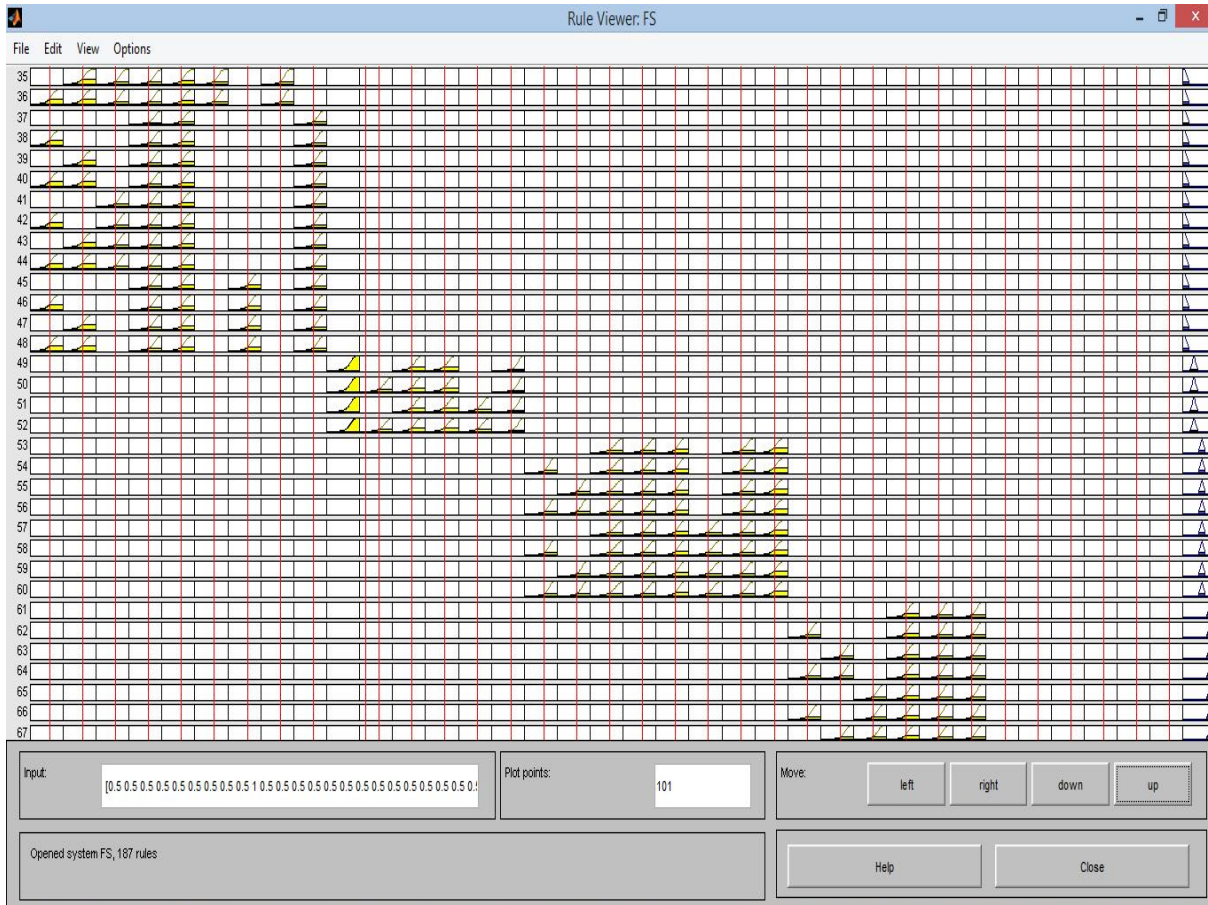


Рис. 4. Функції належності вихідних даних

```

171. If (a is yes) and (b is yes) and (c is yes) and (j is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
172. If (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
173. If (b is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
174. If (a is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
175. If (a is yes) and (b is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
176. If (c is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
177. If (b is yes) and (c is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
178. If (a is yes) and (c is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
179. If (a is yes) and (b is yes) and (c is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
180. If (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
181. If (b is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
182. If (a is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
183. If (a is yes) and (b is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
184. If (c is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
185. If (b is yes) and (c is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
186. If (a is yes) and (c is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
187. If (a is yes) and (b is yes) and (c is yes) and (j is yes) and (k is yes) and (l is yes) then (diagnoses is intraductal) (1)
    
```

Рис. 5. Приклад запису продукційних правил в редакторі «Rule editor»



**Рис. 6.** Приклад роботи бази продукційних правил розробленої нечіткої системи

Аналіз роботи нечіткої системи свідчить про її працездатність та правильність роботи, тому можна стверджувати, що розроблена нечітка система діагностування патологічних станів молочної залози може реалізовуватись апаратно чи програмно і застосовуватись в онкотелемедицині.

## Висновки

У роботі проведено розробку нечіткої системи діагностування патологічних станів молочної залози на основі аналізу гістологічних зображень. Робота запропонованої нечіткої системи базується на опрацюванні бази 187 продукційних правил. Для дослідження використовувалися ознаки патологічних станів на гістологічних зображеннях, отримані від лікаря-експерта. Розроблена нечітка система може застосовуватися для постановки точного діагнозу патологічного стану молочної залози в режимі реального часу, виключаючи суб'єктивний характер постановки діагнозу лікарем.

## Список літератури

1. Berezsky, O. Fuzzy system diagnosing of precancerous and cancerous conditions of the breast / O. Berezsky, S. Verbovy, L. Dubchak, T. Datsko // XIth International Scientific and Technical Conference "Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2016. – Pp. 200-203.
2. Berezsky, O. Fuzzy System of Diagnosing in Oncology Telemedicine / O. Berezsky, S. Verbovy, L. Dubchak, T. Datsko // Sensors & Transducers. – 2017. – Pp. 32-38.

3. Штовба, С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным / С.Д. Штовба // Проблемы управления. – 2007. – №4. – С. 102-104.
4. Дубчак, Л.О. Метод обробки нечітких даних на основі механізму Мамдани / Л.О. Дубчак // Системи обробки інформації. – 2012. – №7(105). – 131 с.
5. Дубчак, Л.О. Спосіб обробки нечіткої інформації / Л.О. Дубчак // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Даля. – 2012. – №8 (179), Ч.1. – С. 306-309.
6. Abadeh, M.S. Intrusion Detection Using a Fuzzy Genetics-Based Learning Algorithm / M.S. Abadeh, J. Habibi, C. Lucas // Journal of Network and Computer Applications. – 2007. – №30. – Pp. 414-428.
7. Ross, T.J. Fuzzy Logic with Engineering Applications / T.J. Ross. – McGraw-Hill Inc.(USA), 1995. – 600 p.
8. Berezhsky, O. Computer diagnostic tools based on biomedical image analysis / O. Berezhsky, O. Pitsun, S. Verbovyu, T. Datsko, A. Bodnar // XIV-th of the International Conference on The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM'2017. – Pp. 388-391.

### НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ НА ОСНОВАНИИ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Л.О. Дубчак<sup>1</sup>, С.О. Вербовой<sup>1</sup>, Н.А. Максимив<sup>1</sup>, Т.В. Дацко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тернопольский национальный экономический университет,  
ул. Львовская, 11, Тернополь, 46020, Украина; E-mail: dlo@tneu.edu.ua

<sup>2</sup> Тернопольский государственный медицинский университет им. И.Я. Горбачевского,  
площадь Воли, 1 Тернополь, 46001, Украина; E-mail: datskotv@gmail.com

Распространенность рака молочной железы занимает первое место в структуре онкологических заболеваний женщин. Экспертная постановка диагноза таких патологических состояний базируется на качественных показателях анализа гистологических изображений, поэтому разработка средств их обработки позволяет сделать процесс постановки правильного диагноза быстрее и точнее для эксперта. В данной статье предлагается нечеткую систему диагностирования раковых состояний молочной железы, основанной на признаках, полученных от врача-диагноста. Разработанная система может применяться в онкологии, что позволит осуществлять постановку диагноза в реальном времени и исключая субъективный характер постановки диагноза врачом.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, нечеткая система, гистологическое изображение, молочная железа, патологические состояния, диагноз

### FUZZY SYSTEM DIAGNOSING OF PATOLOGY CONDITIONS OF THE BREAST BASED ON HISTOLOGICAL IMAGES

L.O. Dubchak<sup>1</sup>, S.O. Verbovyu<sup>1</sup>, N.A. Maksymiv<sup>1</sup>, T.V. Datsko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ternopil National Economic University,  
ul. Lviv, 11, Ternopil, 46020, Ukraine; E-mail: dlo@tneu.edu.ua

<sup>2</sup> I.Ya. Horbachevsky Ternopil State Medical University,  
Freedom Square, 1 Ternopil, 46001, Ukraine; E-mail: datskotv@gmail.com

Prevalence of breast cancer ranks first in the structure of women cancer. Expert diagnosis of pathological states based on qualitative performance analysis of histological images, so development processing allows making the correct diagnosis process faster and more accurate for the expert. This paper proposes a fuzzy system diagnosing of precancerous and cancerous breast conditions based on attributes obtained from the doctor-diagnostician. The system can be used in cancer medicine that will allow diagnosing in real time and eliminating subjective diagnosis by a doctor.

**Keywords:** fuzzy logic, fuzzy system, microscopic images, breast, pathology conditions, diagnosis