

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**БАБЮК НАТАЛЯ ПЕТРІВНА**

**УДК 681.5:613**

**МЕТОД ТА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗМІН  
БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ОФТАЛЬМОЛОГІЇ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2016

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Павлов Сергій Володимирович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
проректор з наукової роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Русин Богдан Павлович,**  
Фізико-механічний інститут  
ім. Г.В.Карпенка НАН України, м. Львів,  
завідувач відділу методів і систем обробки,  
аналізу та ідентифікації зображень

доктор технічних наук, професор  
**Аврунін Олег Григорович,**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки,  
професор кафедри біомедичної інженерії

Захист відбудеться “ 13 ” травня 2016 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210, ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “ 12 ” квітня 2016 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С. В.Тимчик

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасна медицина є однією з найбільш високотехнологічних галузей наукової та практичної діяльності, найважливіше завдання якої полягає в розробці нових ефективних методик ранньої діагностики різних патологій. Кілька останніх десятиліть характеризуються значним проривом в галузі технічної оснащеності медицини. Комп'ютерний аналіз зображень став основним інструментом медичних діагностичних систем, що дозволяє істотно підвищити якість діагностики. Найбільш активно інформаційні технології впроваджуються в офтальмологію.

В даний час в багатьох країнах інтенсивно використовується підхід кількісної оцінки зображень судин для виявлення судинної патології в громадських скринінг-центрах із застосуванням автоматизованих систем розпізнавання образів (Goldbaum, Taylor, Abramoff, Kelvin, Perez-Rovira, Stewart). Однак проведений аналіз існуючих на даний момент програмних комплексів аналізу зображень судинних систем показав, що більшість з них не має прикладного програмного забезпечення для вимірювання повного набору діагностичних ознак і постановки діагнозу, а містить лише засоби реєстрації зображень, ведення обліку діагностичної інформації про пацієнта і найбільш часто використовувані засоби для попередньої обробки зображень, підвищення якості та маркування зображень.

Дослідження в дисертаційній роботі спрямовані на розроблення методів та системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень в офтальмології, зокрема аналізу зображень мікроциркуляції судин ока і судин очного дна. Зображення судин несуть важливу діагностичну інформацію, на підставі дослідження яких лікар може робити висновки про стан здоров'я людини. Оцінювання стану судин використовується також при лікуванні системного атеросклерозу, інсульту, захворювань нирок та ін. Особливо цінним є те, що діагностично значущу інформацію про характер мікроциркуляції кон'юнктиви ока та стан судин очного дна можна отримати із застосуванням неінвазивних методик, без побічних ефектів. Доступність неінвазивного огляду та візуалізації робить судини очного дна найбільш інформативними для аналізу локальної мікроциркуляції та прогностично значущими в плані оцінювання гемодинаміки всього організму.

У даний час переважно при офтальмологічних дослідженнях використовується оптико-електронні системи, які базуються на аналізі локального діаметра судин. Однак такі системи є обмеженими у розумінні процесу аналізу розвитку багатьох захворювань. Клінічно важливими показниками, які вносять істотний внесок в оцінювання ступеня патології та ймовірності розвитку захворювань, є й інші статистичні параметри: нерівномірність діаметра, кривизна, звивистість судин та ін. Офтальмоскопічні дослідження мікросудин на основі сучасних методів та систем дозволяють оцінювати біомедичні показники стану судинної системи з вищою інформативністю, ніж при вивченні окремих органів і тканин людини. Тому до офтальмологічного діагностичного обладнання висуваються підвищені вимоги

щодо достовірності, точності, швидкості оброблення зображень тощо. Сучасні діагностичні системи, що застосовуються в офтальмології, рідко дають таку можливість. Крім того, рівень вимог до медичного діагностичного обладнання, яке використовується в даній галузі, незмінно підвищується, що вимагає застосування нових інформаційних методів і сучасних засобів до його реалізації.

Тому задача, яка розв'язується в дисертаційній роботі, а саме розробки системи для оцінювання динамічних змін шляхом аналізу біомедичних зображень, що дозволяє автоматизувати етапи діагностики і здійснювати кількісний моніторинг патологічних змін судин є актуальною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, результати яких подано в даній дисертаційній роботі, проводились здобувачем протягом 2010-2015 років.

Робота виконувалась відповідно до тематичних планів наукових досліджень ВНТУ та Міністерства освіти і науки України за такими держбюджетними темами: «Створення інформаційних діагностичних технологій для оцінювання стану і визначення індексу здоров'я людини» (№ ДР 0108U000656); «Оптико-електронні технології діагностування та лазерні засоби терапії патологій ока (дослідження та терапія рогівки, сітківки та мікроциркуляції кон'юнктиви ока)» (№ ДР 0110U002167); «Створення автоматизованих діагностичних систем для оцінювання функціонального стану людини» (№ ДР 0105U002421); «Розроблення неінвазивних оптико-електронних систем двовимірної поляризаційної томографії фазово-неоднорідних біологічних об'єктів» (№ ДР 0110U002168).

**Мета і задачі дослідження.** *Метою даної роботи є підвищення достовірності оброблення біомедичних зображень очного дна шляхом розробки методу і системи оцінювання динамічних змін біомедичних зображень в офтальмології.*

*Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:*

- провести аналіз існуючих методів і підходів для оцінювання біомедичних зображень очного дна в нормі і патології;
- розробити на основі просторово-зв'язного препарування математичну модель для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень;
- удосконалити метод автоматичного вибору порогу градієнтного фільтра в частині фрагментування інформаційних ділянок;
- розвинути метод W-спектру зв'язності для аналізу біомедичних зображень;
- удосконалити алгоритм формування діагностичних ознак для розроблення критеріїв оцінювання біомедичних зображень очного дна;
- обґрунтувати вибір алгоритмів оброблення біомедичних зображень очного дна;
- запропонувати функціональну схему системи для оцінювання біомедичних зображень і розробити на її основі саму систему визначення динамічних змін зображень очного дна;

- провести експериментальні дослідження із застосуванням розробленої системи.

*Об'єктом дослідження* є процес оцінювання динамічних біомедичних зображень на основі методів та системи для аналізу мікроциркуляції судин ока.

*Предметом дослідження* є інформаційні діагностичні ознаки біомедичних зображень очного дна, характеристики системи для оцінювання біомедичних зображень очного дна.

**Методи дослідження** – базуються на використанні апарата *Q*-перетворення, паралельно-ієрархічного перетворення – для оцінювання інформаційних ознак біомедичних зображень, методи фільтрації – для усунення шумів різної природи, теорії експерименту та комп'ютерного моделювання для перевірки адекватності розроблених моделей.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше розроблено математичну модель на основі просторово-зв'язного препарування для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка визначає характерні ознаки для досягнення інваріантності щодо повороту зображень і підвищує достовірність оброблення.

2. Удосконалено метод автоматичного вибору порогу градієнтного фільтра, який відрізняється тим, що використовує дані, отримані градієнтними методами, що визначають оптимальний поріг і підвищують достовірність прогнозування швидкості динамічних змін біомедичних зображень.

3. Отримав подальший розвиток метод *W*-спектра зв'язності для аналізу біомедичних зображень шляхом фрагментування інформаційних ділянок в частині порівняння зображень із еталонними препаратами, що підвищує достовірність діагностування офтальмологічних захворювань.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у тому, що на основі розроблених теоретичних положень реалізовано систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень очного дна.

Основні практичні результати, отримані в дисертаційній роботі:

1. Показано, що на основі проведеного обґрунтування вибору алгоритмів для оброблення біомедичних зображень, найбільш інформативними для сегментації зображень очного дна є алгоритм на основі фільтрації Кірша та нелінійного фільтра Собела.

2. Удосконалено алгоритм формування діагностичних ознак для оцінювання мікроциркуляції крові в судинах очного дна в частині використання шаблон-еталонів для сегментації біомедичних зображень, що дозволяє використовувати ділянки зображень, які лікар класифікує як однорідні.

3. Сформульовано рекомендації щодо створення системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень на прикладі визначення стану мікроциркуляції крові в судинах очного дна, показники якої дозволяють оцінювати адекватність дій щодо аналізу цифрових біомедичних зображень очного дна.

4. Розроблено систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка дозволяє проводити оцінювання стану судин та визначення

кон'юнктивального індексу за такими показниками: співвідношення діаметрів артеріол і відповідних венул; нерівномірності калібру; меандричні звивистості; мікроаневризми; клубочки; сітковидні структури судин; зміни кількості функціонуючих капілярів; артеріоло-венулярні анастомози; крововиливи; периваскулярні набряки; сладж-феномени; мікротромби.

5. Проведено експериментальні дослідження біомедичних зображень мікроциркуляції крові в судинах очного дна за допомогою розробленої системи на кафедрі очних хвороб Вінницького національного медичного університету ім. М.Пирогова (акт впровадження від 15.09.2015 року). Методи та алгоритми оброблення біомедичних зображень також впроваджено у навчальний процес кафедри загальної фізики та фотоніки і лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 10.10.2015 року) та для проведення наукових досліджень на базі Корпорації «Лазер та здоров'я», м. Харків (акт впровадження від 25.08.2015 року).

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується правильною постановкою задачі, коректним використанням математичного апарату препарування зображень, теорії штучних нейронних мереж та кореляційного аналізу, збігом результатів, отриманих аналітичними методами, з результатами експериментальних досліджень, отриманих у тому числі шляхом комп'ютерного моделювання.

**Особистий внесок здобувача.** Основні ідеї і розробки, які виносяться на захист, належать авторові. У наукових працях, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача є таким: [1, 8, 9, 10] – аналіз сучасних засобів обробки двовимірних та тривимірних зображень; [2, 15] – розробка системи та математичної моделі для оцінювання динамічних змін конфігурації біомедичних зображень; [3] – методика аналізу біомедичних зображень; [4] – аналіз методів попереднього оброблення біомедичних зображень та формалізація діагностичних ознак; [5] – дослідження методу автоматичного визначення порогу сегментації динамічних змін конфігурації біомедичних зображень; [11, 12] – алгоритм порівняння та оцінювання переміщень при оцінюванні динамічних змін конфігурації біомедичних об'єктів [6] - побудова системи для визначення змін конфігурації мікросудин кон'юнктиви ока, отримання даних та їх інтерпретація; [7] – порівняльний аналіз та класифікація зображень із застосування паралельно-ієрархічного методу, частково – інтерпретація результатів дослідження; [13] – аналіз інформативних ознак біомедичних об'єктів; [14,16] – реалізація системи для кореляційного аналізу біомедичних зображень.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень, викладені у дисертаційній роботі, доповідались та обговорювались на таких конференціях: Міжнародній науково-технічній конференції «Наука и предпринимательство», Вінниця-Ялта, 2005; Міжвузівській науково-практичній конференції «Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті», Вінниця, 2007; II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці», Луганськ, 2008; XXXVIII Науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу,

співробітників та студентів ВНТУ, Вінниця, 2009; Першій Міжнародній конференції студентів і молодих науковців «Сучасні інформаційні технології 2011», Одеса, 2011; Міжнародній конференції «Optical Fibers and Their Applications 2012», Lublin and Naleczow, Poland, 2012; Четвертій Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», Вінниця, 2014.

**Публікації.** Результати дисертації опубліковано в 16 наукових працях роботах, включаючи 6 статей в наукових фахових виданнях, у тому числі 6 статей, які включені до наукометричних баз даних (1 стаття у міжнародній наукометричній базі даних Scopus), 1 стаття в міжнародному науково-технічному журналі, 7 матеріалів доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, 2 патенти України на корисну модель.

**Структура і об'єм дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 148 сторінок, з яких основний зміст викладено на 115 сторінках друкованого тексту, дисертація містить 37 рисунка, 12 таблиць. Список використаних джерел складається з 140 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, встановлюється наукова проблема, стан і необхідність її вирішення існуючими та новими технічними засобами. Показується зв'язок роботи з темами, програмами та планами НДР, формулюється мета та задачі наукового дослідження. Визначається наукова новизна, практичне значення одержаних результатів дослідження за темою та особистий внесок здобувача в роботах, що вийшли з друку. Надається інформація про апробацію проведених досліджень.

**В першому розділі** проведено аналітичний огляд методів та систем для оброблення динамічних змін біомедичних зображень при оцінюванні патологій ока людини. Проведений аналіз показав, що задача створення системи оцінювання біомедичних зображень патологій судин ока людини є актуальною і такою, що потребує свого вирішення, оскільки існуючі методи та системи оцінювання, а також існуючі методи оброблення біомедичних зображень не задовольняють сучасним вимогам до подібних систем за точністю, достовірністю оброблення біомедичних зображень, що призводить до виникнення помилок при постановці діагнозу в офтальмологічних дослідженнях. Також проведено аналітичний огляд основних положень комп'ютеризованого підходу до аналізу зображень мікросудин ока та очних судинних патологій, який дозволив визначати обов'язкові етапи оброблення діагностичних зображень судинної системи ока людини, а також порівняти різноманітні методи виділення судин і кількісного оцінювання їх морфологічних ознак.

**В другому розділі** запропоновано класифікацію методів оброблення біомедичних зображень для оптимізації процесу отримання високоінформативних та якісних біомедичних зображень (рис. 1), в якій

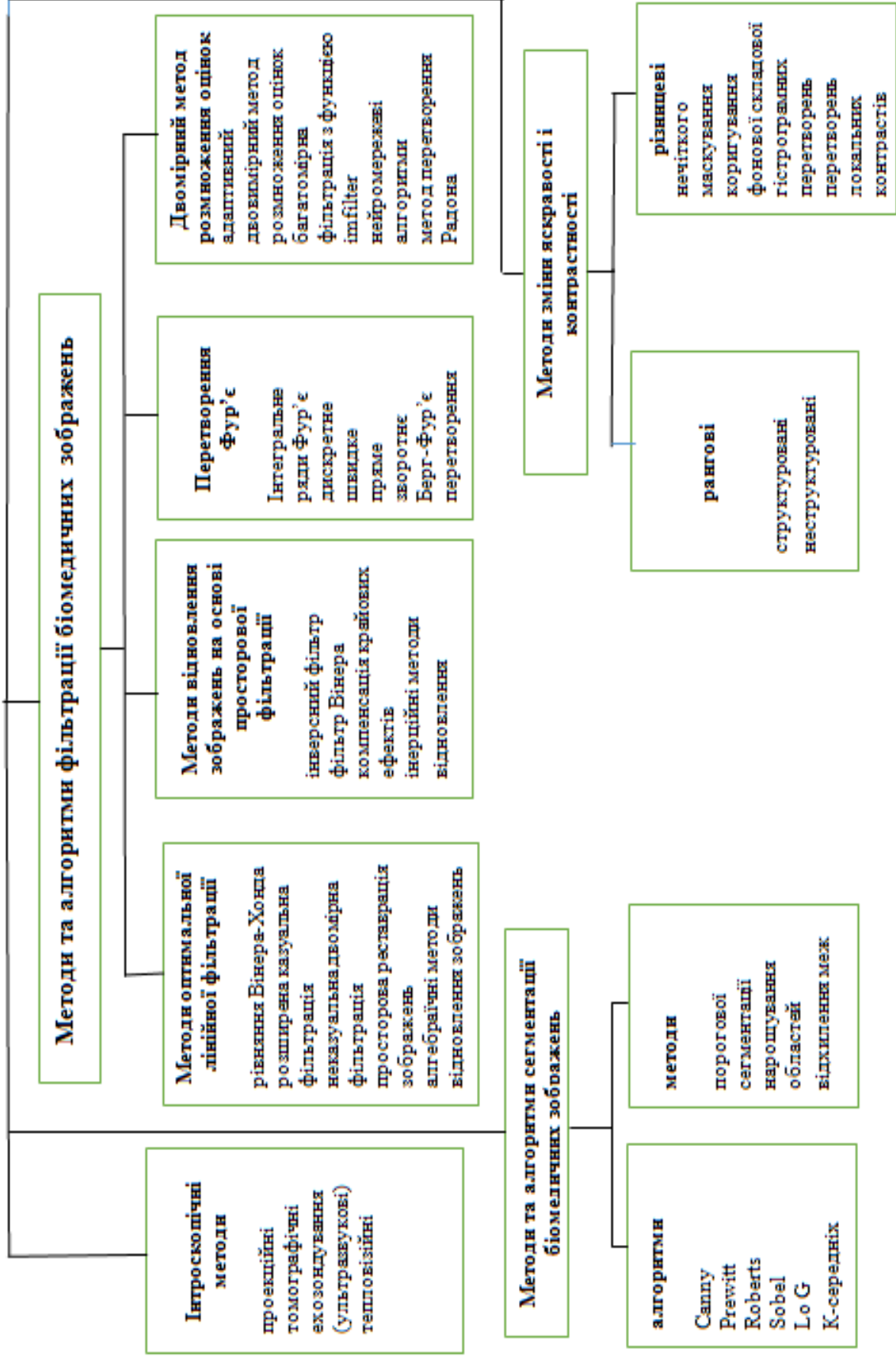


Рисунок 1 – Класифікація сучасних методів оброблення біомедичних зображень



представлено а) найбільш поширені методи; б) методи, оптимальні за структурою та ефективністю; в) методи, що забезпечені потужною математичною підтримкою; г) методи, які добре реалізуються на обчислювальних засобах; д) методи, що максимально відповідають критерію оптимальності.

Розроблено математичну модель на основі просторово-зв'язного препарування для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка визначає характерні ознаки для досягнення інваріантності щодо повороту зображень і підвищує достовірність оброблення. Сутність запропонованого оброблення біомедичного зображення полягає у послідовному перетворенні співпадаючих і знаходженні (фільтрації) неспівпадаючих у часі складових зображення при переході елементів мережі із поточних енергетичних станів із одними просторовими координатами в стани із меншою енергією з іншими просторовими координатами, при цьому за допомогою просторово-зв'язного препарування знаходять перепади інтенсивності між відліками дискретизованого зображення за восьма рангами зв'язності, формують дворівневі сигнали знаходження, перетворюють сукупність сигналів знаходження в сукупність просторово-зв'язні контурні препарати (ПЗКП), формують функції ПЗКП та шляхом підсумовування маскованих окремо функції ПЗКП додатних, від'ємних та нульових узагальнених просторово-зв'язаних препаратів (УПЗПр).

Функції просторово-зв'язних препаратів, отримавши систему функцій ПЗКП:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{i,j(\beta)}^{(\bar{\alpha}_1)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } r_{i,j(\beta)}^{+(\bar{\alpha}_1)} = \beta; \\ 0, & \text{інакше,} \\ \dots \end{cases} \\ \dots \\ f_{i,j(\beta)}^{(\bar{\alpha}_8)} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \partial_{i,j(\beta)}^{-(\bar{\alpha}_8)} = \beta \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \end{array} \right.$$

Відповідно із методом узагальненої просторової зв'язності утворюються із системи функцій ПЗКП систему функцій УПЗПр у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{|a|_V=1(\beta)}^{i,j} = \sum_{v=1}^8 (f_{i,j|a|_V=1(\beta)} \square_{\omega_{i+l,j+\tau}, \xi_k, \eta_k}) \\ \dots \\ F_{|a|_V=S(\beta)}^{i,j} = \sum_{v=1}^8 (f_{i,j|a|_V=S(\beta)} \square_{\omega_{i+l,j+\tau}, \xi_k, \eta_k}) \end{array} \right., \quad (1)$$

де  $F_{\bar{\alpha}_v(\beta)}^{i,j}$  - узагальнена функція УПЗПр.

При цьому локальний спектр просторової зв'язності (СПЗ)  $W_{\wedge(i,j)}^{\bar{Z}_v(\beta)}$  визначається виразом:

$$W_{\wedge(i,j)}^{\bar{z}_{\vee}(\beta)} = \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}(\beta)}^{i,j} = \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}(0)}^{i,j} \cup \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}(-1)}^{i,j} \cup \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}(+1)}^{i,j}. \quad (2)$$

Повний СПЗ  $W_n^{\bar{\alpha}(\beta)}$  зображення  $g(i,j)$  можна визначити, використовуючи вираз (1), отримуючи вихідну інформацію для ПІ перетворення:

$$W_n^{\bar{\alpha}(\beta)} = \begin{pmatrix} \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{1,1} & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{1,2} & \dots & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{1,m_g} \\ \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{2,1} & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{2,2} & \dots & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{2,m_g} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g-1,1} & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g-1,2} & \dots & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g-1,m_g} \\ \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g,1} & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g,2} & \dots & \sum_{|\bar{\alpha}_{\vee}|=1}^S F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{n_g,m_g} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

При цьому кінцевий результат перетворення визначається виразом

$$\bigoplus_{r=2}^d \left[ T \left( G \left( \bigcup_{\beta} W_{\wedge}^{\bar{\alpha}(\beta)} \right) \right) \right] = \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{11r}, \quad (4)$$

де  $F_{\bar{\alpha}_{\vee}(\beta)}^{11r}$  - хвостові елементи мережевого ПІ перетворення.

При цьому образ еталону отримано із такою пороговою обробкою виділених відліків. Максимальні горизонтальний  $m_g$  і вертикальний  $n_g$  розміри образу еталону дорівнюють 4, а величини  $l_g$  і  $\tau_g$  його зміщення відносно початку координат вздовж горизонтальної та вертикальної координатних осей рівні 1. Параметри трансляції  $l_g$  і  $\tau_g$  можна із розгляду виключити, якщо перейти в іншу систему координат:  $i^1, j^1$ , де  $i^1 = i - l_g$ ,  $j^1 = j - \tau_g$ , що використовуються у подальшому для опису образу еталона.

Таким чином, мережеве ПІ перетворення СПЗ функцій УПЗПр  $\{W_{\wedge}^{(0)}\}$ ,  $\{W_{\wedge}^{(+1)}\}$ ,  $\{W_{\wedge}^{(-1)}\}$  полягає в паралельно-послідовному рекурсивному формуванні вихідних мережевих функцій  $C^1(W_{\wedge}^{(0)}, W_{\wedge}^{(+1)}, W_{\wedge}^{(-1)})$ , у вертикальних перерізах яких проводиться рекурсивне формування вихідних мережевих функцій  $C^2(W_{\wedge}^{(0)}, W_{\wedge}^{(+1)}, W_{\wedge}^{(-1)})$ , а в діагональних перерізах – рекурсивне формування вихідних мережевих функцій  $C^3(W_{\wedge}^{(0)}, W_{\wedge}^{(+1)}, W_{\wedge}^{(-1)})$  і так далі до тих пір, поки  $l$ -а мережева функція  $C^l(W_{\wedge}^{(0)}, W_{\wedge}^{(+1)}, W_{\wedge}^{(-1)})$  не буде складатися із одного елемента. Узагальнена вихідна мережева функція  $C_{вих}$  складається із діагональних значень вихідних мережевих функцій одиничної довжини.

Даний підхід для аналізу біомедичних зображень на основі просторово-зв'язного препарування в частині виділення характерних ознак зображень, його фрагментація (скорочення розмірності) з урахуванням інваріантності до повороту зображень, що дозволяє зменшити апаратні витрати при одночасному підвищенні завадостійкості розпізнавання біомедичних образів.

В роботі для кореляційного аналізу динамічних змін об'єктів при обробленні біомедичних зображень використовувалась парна функцію порівняння. Мережеві функції порівняння ПІ перетворення зображень можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned}
 C_{fg\omega l,\tau}(k,r) &= \sum_k \sum_{i=\delta_1}^{\delta_2} \sum_{j=\mu_1}^{\mu_2} u \left( \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{f}_{l,\tau,i,j}, \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{g}_{\tau,i-j-\xi_k, j-\tau-\eta_k} \right) \times \omega_{i+l, j+\tau, \xi_k, \eta_k}, \\
 C_{gg\omega(k,r)} &= \sum_k \sum_{i=\delta_1}^{\delta_2} \sum_{j=\mu_1}^{\mu_2} u \left( \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{g}_{\tau,i,j}, \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{g}_{\tau,i-\xi_k, j-\eta_k} \right) \times \omega_{i, j, \xi_k, \eta_k}, \\
 C_{ff\omega l,\tau}(k,r) &= \sum_k \sum_{i=\delta_1}^{\delta_2} \sum_{j=\mu_1}^{\mu_2} u \left( \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{f}_{l,\tau,i,j}, \bigcup_{r=2}^d F_{\bar{a}_v(\beta)}^{11r} \tilde{f}_{l,\tau,i-\xi_k, j-\eta_k} \right) \times \omega_{i+l, j+\tau, \xi_k, \eta_k}, \\
 \omega_{i+l, j+\tau, \xi_k, \eta_k} &= \omega_{i+l, j+\tau} \omega_{i+l, j+\tau+\eta_k}, \quad \omega_{i, j, \xi_k, \eta_k} = \omega_{i, j} \cdot \omega_{\xi_k, j+\eta_k}, \quad (5)
 \end{aligned}$$

де  $\omega_{i, j, \xi_k, \eta_k}$  – маскова функція рангу  $\xi_k, \eta_k$ ;

$l, \tau$  – параметри трансляції зображення;  $\tilde{f}_{l,\tau}, \tilde{g}_{\tau}$  – відліки ПЗ і ЕЗ,  
 $\delta_1 = l, \delta_2 = l + m_{g_3} - \xi_k - 1, \mu_1 = \tau, \mu_2 = \tau + n_{g_3} - \eta_k - 1, u(\dots)$  – парна функція порівняння.

Подальше порівняння доцільно здійснювати за методом узагальненого Q-порівняння із попередньою обробкою на основі узагальненого Q-перетворення. Це забезпечує максимальну простоту реалізації, що притаманна методам порівняння за різницевою критеріальною мірою, а точність – за нормованою кореляційною мірою.

Запропонований метод базується на використанні градієнтних методів для визначення оптимального порогу із метою підвищення точності прогнозування поведінки об'єктів динамічних зображень та базується на використанні даних, які подаються градієнтними методами і забезпечують визначення оптимального порогу, що підвищує достовірність прогнозування швидкості динамічних змін біомедичних зображень і визначає оптимальний рівень порогу в умовах динамічних збурюючих факторів. Для реалізації запропонованого методу на основі використання градієнтних методів для визначення оптимального порогу використовується один із найефективніших градієнтних методів – метод SUSAN. Головною перевагою методу SUSAN є його простота, точність, швидкість вирахування і достатня локалізація біомедичних об'єктів.

Оцінювання динамічних змін конфігурації біомедичних зображень при високій частоті відновлення, зміни положення центра ваги, навіть при швидкому русі, відбуваються повільно. Використовуючи цю особливість,

визначаються центри об'єкта навчальної вибірки при різних порогових значеннях. Кількість елементів (кадрів) навчальної вибірки вибирається залежно від типу динамічного об'єкта, поставленого завдання і початкових умов. Алгоритм оброблення біомедичних зображень працює таким чином. Задається кількість елементів навчальної вибірки  $Q$ , величина якого при нормальних умовах незначно впливає на результат роботи алгоритму. Дана кількість відповідає кількості числових значень параметра  $T$ , згідно з якими і визначається оптимальне значення порога. Після цього встановлюється діапазон значень порога, в якому може знаходитися оптимальне значення порога

$$T \in [L_{\min}; L_{\max}], \quad (6)$$

де  $L_{\min}; L_{\max}$  – верхня і нижня границі відповідно.

З метою зниження чутливості до спотворень, що вносяться формуванням біозображень та його шуму, пропонується метод подання багатоградаційного зображення узагальненим  $W$ -спектром просторової зв'язності і на його основі запропоновані завадостійкі алгоритми порівняння біозображень. Спотворюючий зображення геометричний шум проявляється у випадках:

1. Виникнення шумових відліків зображення з одиничним значенням, що додаються до контуру чи ізольованих від контуру бінарного зображення.
2. Виникнення шумових відліків з нульовим значенням всередині контуру бінарного зображення.
3. Штучного розділення сегментів бінарного зображення, наприклад, при двохградаційному квантуванні сильнозашумленого напівтонового зображення сідлообразного типу у зв'язку з необхідністю встановлення порогу квантування вище значення відліку нижньої точки сідла зображення.

Різниця коефіцієнтів  $W$  - спектрів зв'язності зображень, що порівнюються, до максимального порядку включно визначається

$$\Delta w_{fg(\lambda,t)k} = |w_{f(1,t)k} - w_{g(\lambda,t)k}|, \quad \lambda t \leq (\lambda t)_{\max}. \quad (7)$$

При цьому порівнюються різниці  $\Delta w_{fg(\lambda,t)k}$  з похибкою  $\delta$  і, якщо  $\Delta w_{fg(\lambda,t)k} \leq \delta$  для всіх  $(\lambda t) \leq (\lambda t)_{\max}$ , то зображення рівні, в іншому випадку – нерівні. Процедура порівняння зображення по нормованому  $W$  - спектру зв'язності є аналогічною вищезазначеній із заміною величини  $\delta$  на величину  $\delta_n = \delta(\lambda t / mXmY)$ .

При формуванні еталонів біомедичних зображень на основі  $W$ -спектру просторової зв'язності застосовується наведена вище процедура для зображень мікроциркуляції крові в судинах ока, що відповідають нормі та певним офтальмологічним захворюванням.

Приклад реалізації процедури порівняння фрагментів біомедичних зображень по  $W$  - спектрах зв'язності для формування еталону біомедичного зображення норми наведено на рис. 2.

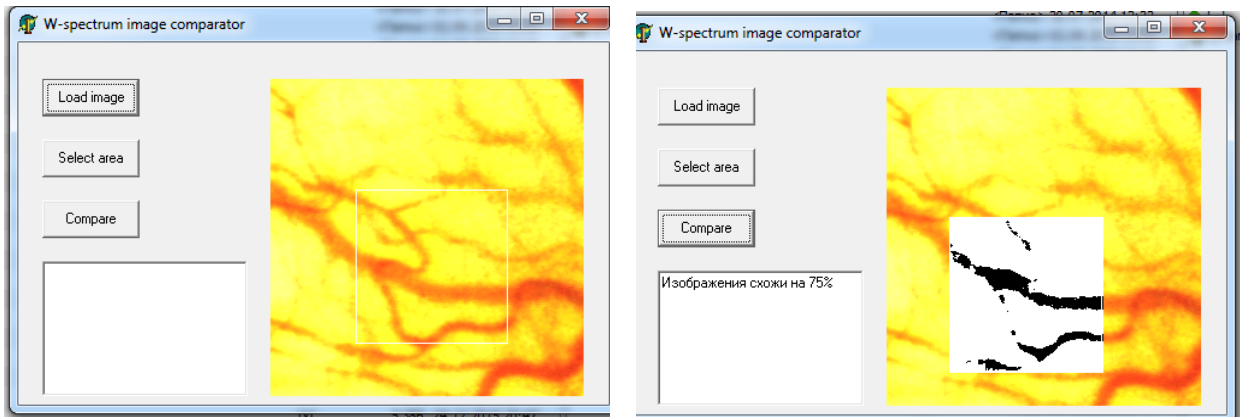


Рисунок 2 – Приклад реалізації порівняння фрагментів біомедичних зображень норми на основі W-спектру просторової зв'язності

Цей підхід дозволяє порівнювати зображення по препаратах еталону, знижує чутливість до спотворень, що вносяться формуванням біозображень та його шуму, пропонується метод подання багатоградацийного зображення узагальненим W-спектром просторової зв'язності і на його основі запропоновані завадостійкі алгоритми порівняння біозображень.

**В третьому розділі** удосконалено алгоритм формування діагностичних ознак для оцінювання мікроциркуляції крові в судинах очного дна в частині використання шаблон-еталонів для отримання та оброблення біомедичних зображень з подальшою їх сегментацією, що дозволяє виділити ділянки зображень, які лікар класифікує як однорідні.

Бальне оцінювання змін мікроциркуляції бульбарної кон'юнктиви є вельми умовним. Це пов'язано з тим, що в основі отримання бальних характеристик стану мікроциркуляції лежать в основному не дані вимірювань, а непрямі ознаки, які суб'єктивно оцінюються кожним із дослідників. Для об'єктивізації оцінювання цих показників необхідна уніфікація показників і ступенів її змін, а також стандартизація оцінювання цих показників на основі використання сучасних методів морфометрії.

Основою такого підходу є використання як базовий матеріал зображення контрольного поля кон'юнктиви в цифровому форматі, яке реєструється за допомогою ПЗЗ матриці, як основного оптико-електронного компонента фундус-камери. Це дозволяє надійно і фахово оцінити стан мікроциркуляції крові в судинній системі.

Інтегральне оцінювання мікроциркуляції кон'юнктиви здійснюється за 5 рівнями змін, що можуть мати місце: рівень мікросудинних змін гемодинаміки (РМЗГ); рівень структурних змін мікросудин (РСЗ); рівень реологічних змін (РРЗ); рівень позасудинних (РПЗ) і рівень змін бар'єрної функції (РЗБФ). Кожен із зазначених рівнів характеризується сукупністю критеріїв, які, в свою чергу, мають відповідні градації змісту і вагові коефіцієнти градацій.

Кількісні значення рівнів визначаються за формулою

$$P_i = \frac{\sum_{i=1}^5 i_{BKG}}{\sum_{i=1}^5 i_{max_{BKG}}}, \quad (8)$$

де  $P_i$  –  $i$ -рівень оцінювання мікроциркуляції;  $i$  – номер рівня (0...5) – (1

– МЗГ, 2 – СЗ, 3 – РЗ, 4 – ПЗ, 5 ЗБФ);  $\sum_{i=1}^5 i_{BKG}$  - сума вагових коефіцієнтів

градацій, що характеризують даний рівень;  $\sum_{i=1}^5 i_{max_{BKG}}$  - максимально можлива

сума вагових коефіцієнтів градацій, що характеризують даний рівень.

Інтегральна оцінка кон'юнктивальної мікроциркуляції здійснюється за формулою

$$IKKM = \frac{\sum_{i=1}^5 i_{BKG}}{\sum_{i=1}^5 i_{max_{BKG}}}, \quad (9)$$

де  $IKKM$  – інтегральний критерій кон'юнктивальної мікроциркуляції.

Підвищення достовірності критеріїв та ознак, що входять до запропонованої системи можна використавши додатково систему розрахункових критеріїв, запропонованих в роботах Н.Ю.Ільсової, згідно за якими критерії оцінювання стану мікроциркуляції крові в судинах очного дна визначаються за такими ознаками: середній діаметр судини на виділеному сегменті (визначеного порядку); прямолінійність судини (характеризує відхилення судини від прямолінійного напрямку); нерівномірність калібру (характеризує нерівномірність товщини судини); амплітуда коливань стінки судини (характеризує відхилення стінок судини від прямої лінії); частота коливань стінки судини (характеризує зміни напрямку стінок судини на одиницю її довжини); звивистість стінки судини (характеризує швидкість зміни функції товщини вздовж траси); звивистість судини (характеризує швидкість зміни функції траси судини на виділеній ділянці); амплітуда коливань судини (характеризує ступінь відхилення ходу траси судини від прямолінійного напрямку); частота коливань судини (характеризує число змін у напрямку траси на одиницю довжини судини).

Деякі дослідники при визначенні стану кон'юнктивальної мікроциркуляції використовують додаткові критерії та ознаки, серед яких можна виділити такі.

Венозний пульс сітківки: в нормі у 80 % людей, його можна спостерігати при офтальмоскопічних дослідженнях, який зникає при внутрішньоочній гіпертензії, глаукомі з підвищеним внутрішньоочним тиском, при набряках

диску зорового нерву. Диск зорового нерву (ДЗН), в свою чергу, характеризується довжиною  $L$ , мм; площею  $S$ , мм<sup>2</sup>; діаметром  $d$ , мм, які знаходяться у такому співвідношенні:

$$\left. \begin{array}{l} 0,99 < L < 1,1 \\ 2,0 < S < 3,0 \\ 1,75 < d < 2,0 \end{array} \right\}.$$

Якщо  $L$ ,  $S$ ,  $d$  лежать в межах наведеного співвідношення, то це відповідає нормі, нижче – нижче норми, вище - вище норми.

У роботі модифіковано алгоритм формування діагностичних ознак при оцінюванні мікроциркуляції крові судин очного дна шляхом генерації трас судин при оцінюванні мікроциркуляції з використанням шаблон-еталонів, який складається з таких етапів оброблення діагностичної інформації.

1. Розбиття отриманих оброблених зображень судин на класи на основі формальних ознак за допомогою експертної оцінки кваліфікованих лікарів.
2. Оцінювання інформаційних ознак судин.
3. Визначення w-спектра зв'язності матриці.
4. Вибір ознак для формування на їх основі шаблон-масок.
5. Проведення класифікації із використанням обраних ознак.
6. Аналіз результатів.

В роботі проведений аналіз алгоритмів покращення якості оброблення біомедичних зображень при оцінюванні мікроциркуляції крові в судинах очного дна, а саме: фільтра Кірша, нелінійних фільтрів Робертса та Собела, методів Уолесса та SUSAN, результати їх програмної реалізації на прикладі зображень бульварної мікроциркуляції та судин очного дна за допомогою фундус-камери. Найбільш інформативним для сегментації зображень є метод на основі фільтра Кірша та метод на основі нелінійного фільтра Собела.

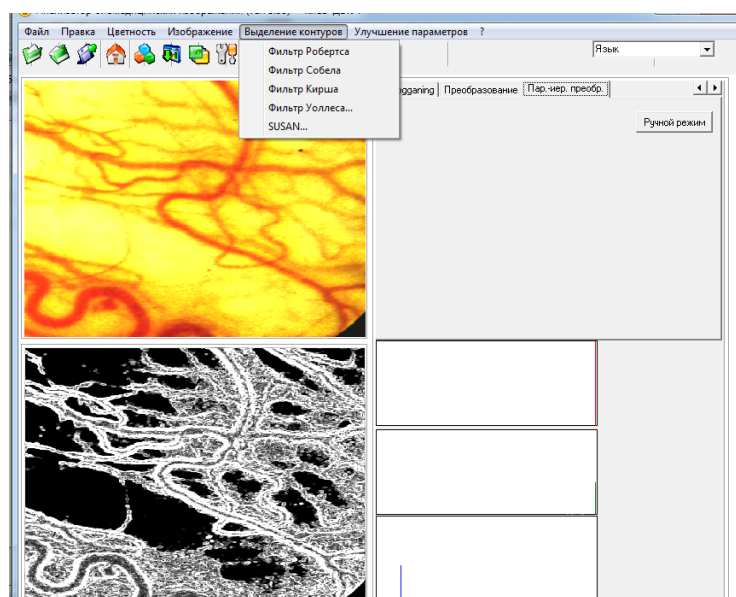


Рисунок 3 – Інтерфейс програми «Аналізатор біомедичних зображень»

Для аналізу ефективності запропонованих фільтрів було використано зашумлене і розмите зображення з подальшим обробленням фільтрами підвищення різкості за допомогою програм Image in Depth, Photoshop, CxImage, Matlab маскою типу Лапласіан, підвищення різкості методом з максимальним нахилом примежової кривої [Білінський І.І., Ратушний П.М.] та розробленої програми «Аналізатор біомедичних зображень» на основі фільтра Кірша та метод на основі нелінійного фільтра Собела, інтерфейс якої представлено на рис. 3. Із результатів аналізу ефективності слід відзначити, що значення критерію PSNR та нормованої кореляції NK для запропонованого програмного забезпечення вищі, ніж для інших, а середньоквадратичне відхилення MSE та нормоване середньоквадратичне відхилення NMSE нижчі, що свідчить про більш точне відтворення зображення із чіткими перепадами та більш якісне й точне відтворення зображення запропонованим методом.

Таким чином, гістограма біомедичного зображення, обробленого за допомогою програмного забезпечення «Аналізатор біомедичних зображень» має чіткий розрив, на відміну від гістограм зображень оброблених відомими методами, в яких спектр яскравостей залишився неперервним. Це свідчить про чітке розділення фону і об'єкта біомедичного зображення.

У результаті проведення дослідження обчислено достовірність роботи системи без внесення до неї вдосконалень складає 0,75, а достовірність роботи системи із внесенням в неї покращень складає 0,8. Таким чином, достовірність прогнозування системи збільшилась на 5 % за рахунок внесення в неї вдосконалень, також підвищилась оперативність оцінювання біомедичних зображень. Діагноз  $d_{i,j}^*$ , отриманий при роботі системи оцінювання мікроциркуляції крові в судинах очного дна, вважається достовірним ( $d_{i,j}^*=1$ ), якщо збігається з медичним діагнозом лікаря. Обчислена достовірність роботи системи для кожного із зображень

$$d_i^* = \frac{\sum_{j=1}^N d_{i,j}^*}{N} \quad (10)$$

Обчислена середня достовірність роботи системи  $d$  при обробленні всіх 150 біомедичних зображень

$$d^* = \frac{\sum_{i=1}^k d_i^*}{k} \quad (11)$$

В четвертому розділі сформульовано рекомендації щодо створення системи оцінювання динамічних змін біомедичних зображень на прикладі визначення стану мікроциркуляції крові в судинах судин очного дна, якісні показники якої дозволяють оцінити адекватність дій по аналізу цифрових біомедичних зображень очного дна.



Запропоновано функціональну схему системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень судин очного дна представлено на рис. 4.

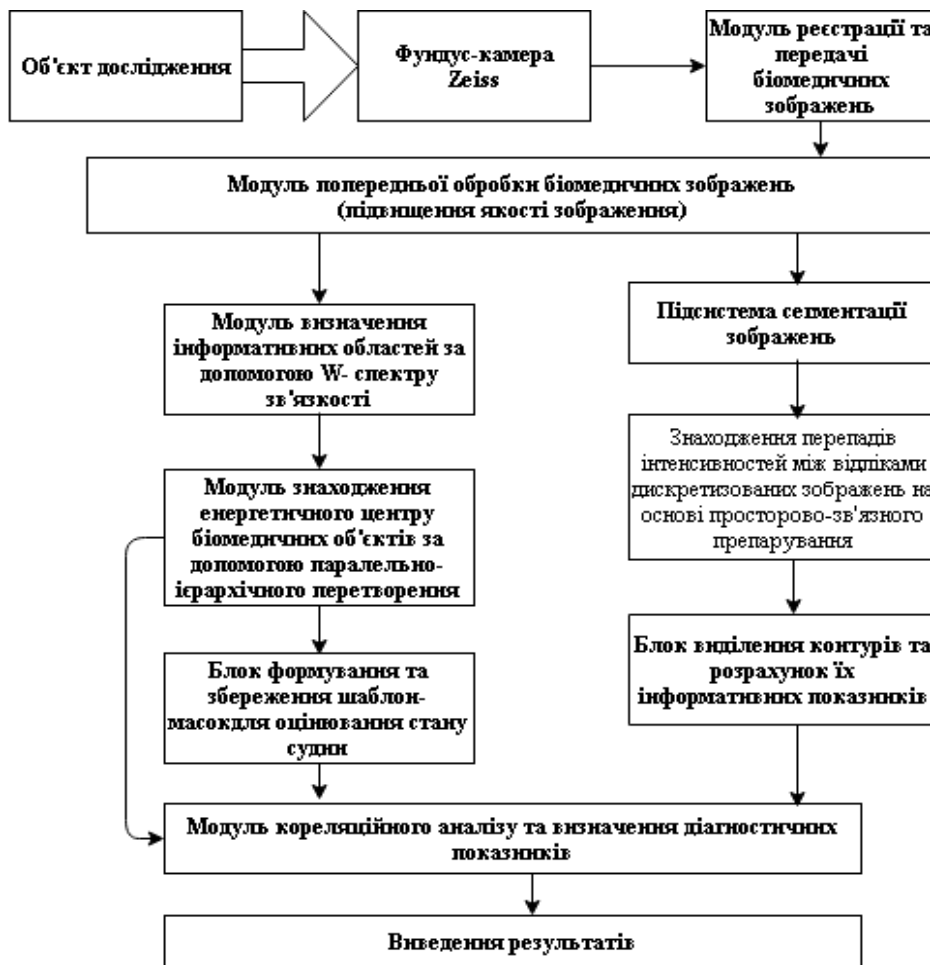


Рисунок 4 – Функціональна схема системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень судин очного дна

До складу системи входять: фундус камера, яка забезпечує візуальне спостереження стану очного дна та мікроциркуляції крові в судинах кон'юнктиви ока; модуль реєстрації та передачі зображень; програмний блок попереднього оброблення зображень з блоком покращення якості зображень; блок вторинного оброблення зображень, який реалізує процедуру знаходження перепадів інтенсивностей між відліками дискретизованих зображень на основі просторово-зв'язного препарування, виділення контурів та визначення їх діагностичних ознак; блок формування та збереження шаблон-масок; модуль знаходження енергетичного центру; модуль кореляційного аналізу та визначення діагностичних показників; модуль формування результатів досліджень та виведення даних.

Розроблено систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка дозволяє проводити оцінювання стану судин та визначення кон'юнктивального індексу за такими показниками: співвідношення діаметрів артеріол і відповідних венул; нерівномірності калібру; меандричні звивистості; мікроаневризми; клубочки; сітковидні структури судин; зміни кількості

функціонуючих капілярів; артеріоло-венулярні анастомози; крововиливи; периваскулярні набряки; сладж-феномени; мікротромби.

Структурна схема системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень судин очного дна представлено на рис. 5. Особливістю запропонованої системи оцінювання біомедичних зображень є введення до дії її структури підсистеми прийняття рішень (ПППР), яка забезпечила практично 100 % відповідність поставленого діагнозу реальній ситуації і виключила неоднозначність в його інтерпретації. Це досягнуто завдяки блокам моделювання ситуації і предметної області та прогнозування, які побудовані на основі системи імітаційного моделювання та блоку формалізації експертних знань, в якому формується початкова структура предметної області, моделі об'єкта, алгоритми функціонування БЗ. Блок формалізації також виконує процедуру ранжування та узгодження експертних знань щодо мети та можливих дій, направлених на досягнення мети.

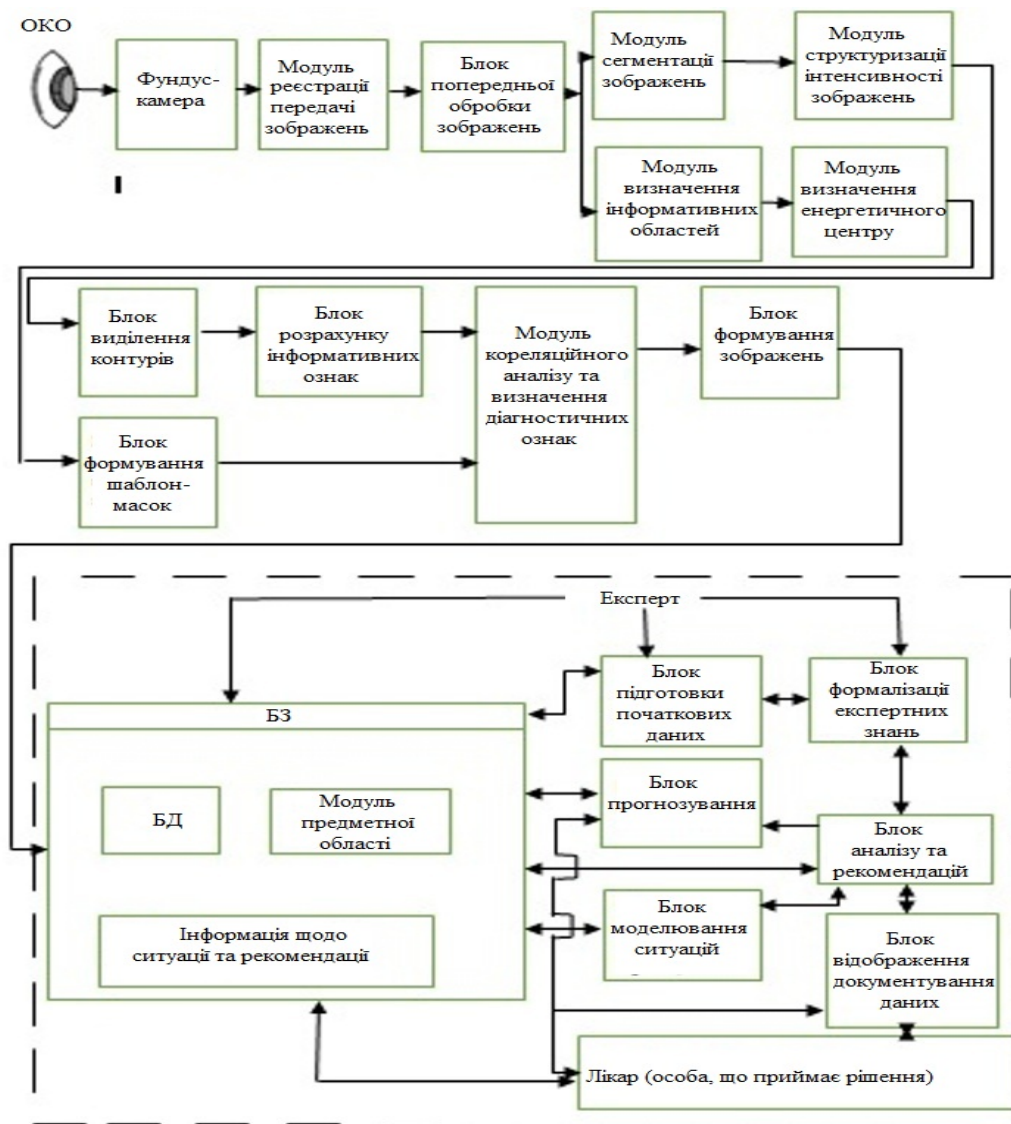


Рисунок 5 – Структурна схема системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень судин очного дна

Для реалізації роботи системи для оцінювання біомедичних зображень в контексті реалізації розробленої системи модифіковано схему алгоритму опрацювання біомедичної інформації.



Рисунок 6 – Схема алгоритму роботи системи для оцінювання мікроциркуляції судин ока

Дослідження стану мікроциркуляції кон'юнктиви ока дає можливість оцінювати з високою інформативністю зображення, які відображають норму та патологічні випадки при діагностиці захворювань кон'юнктиви ока. Проведено експериментальні дослідження отриманих показників мікроциркуляції за допомогою розробленої системи при діагностуванні нормального стану ока та при виявленні патологій. Приклад виведення діагностичних ознак стану мікроциркуляторного русла судин біомедичного зображення показано на рис.7.

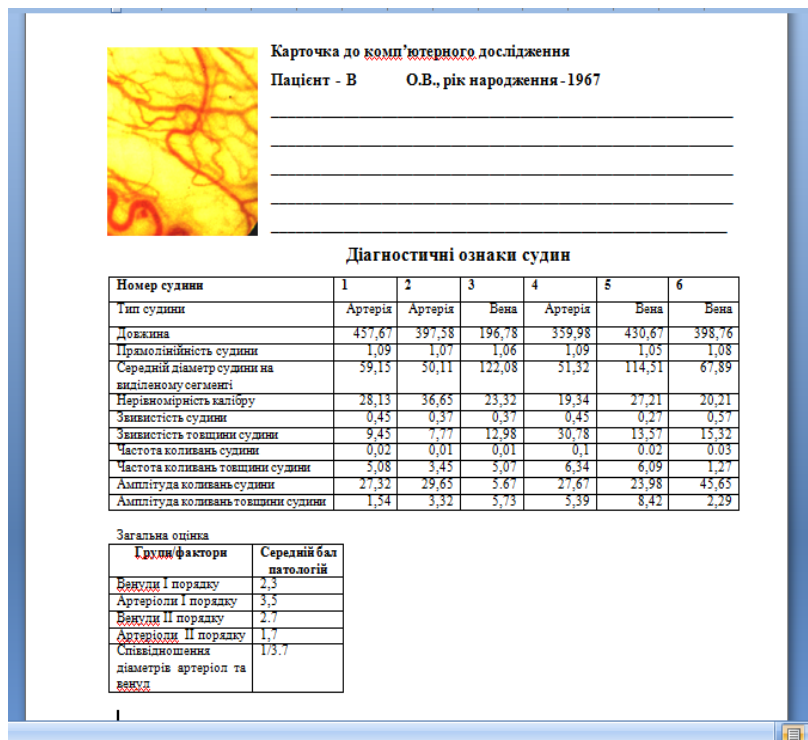


Рисунок 7 – Приклад виведення діагностичних ознак стану мікроциркуляторного русла судин біомедичного зображення

Таким чином, система для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень за рахунок розрахунку інформативних діагностичних ознак біомедичних зображень дозволяє проводити оцінювання стану судин та визначення кон'юнктивального індексу.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі виконані дослідження, що спрямовані на підвищення достовірності оброблення біомедичної інформації шляхом застосування сучасних методів та розробленої системи оцінювання динамічних змін аналізу біомедичних зображень, що дозволило автоматизувати етапи прогнозування захворювань і здійснювати кількісний моніторинг патологічних змін мікроциркуляції крові в судинах очного дна.

Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи:

1. Проведено аналіз, який показав, що задача створення системи оцінювання біомедичних зображень патологій судин ока людини є актуальною і такою, що потребує свого вирішення, оскільки існуючі методи та системи оцінювання, а також існуючі методи оброблення біомедичних зображень не задовольняють сучасним вимогам до подібних систем за точністю, достовірністю оброблення біомедичних зображень, що призводить до виникнення помилок при постановці діагнозу в офтальмологічних дослідженнях.

2. Отримали подальший розвиток математичні моделі для аналізу біомедичних зображень на основі просторово-зв'язного преформування в частині виділення характерних ознак зображень, його фрагментація (скорочення розмірності) з урахуванням інваріантності до повороту зображень, що дозволяє

зменшити апаратні витрати при одночасному підвищенні завадостійкості розпізнавання біомедичних образів.

3. Удосконалено метод автоматичного вибору порогу градієнтного фільтра, що базується на використанні даних, які подаються градієнтними методами і забезпечують визначення оптимального порогу, що підвищує достовірність прогнозування швидкості динамічних змін біомедичних зображень і визначає оптимальний рівень порогу в умовах динамічних збурюючих факторів.

4. Отримав подальший розвиток метод W-спектра зв'язності для аналізу біомедичних зображень шляхом фрагментування інформаційних ділянок і порівняння зображень за препаратами еталону, що відбувається у такій послідовності: аналізуються сусідні відліки та формуються маски відліків; порівнюються тільки ті відліки, які є заповненими; формується масив, який вважається еталонним, що підвищило до 5 % достовірність діагностування офтальмологічних захворювань за біомедичними зображеннями.

5. Удосконалено алгоритм формування діагностичних ознак для оцінювання мікроциркуляції крові в судинах очного дна в частині використання шаблон-еталонів для отримання та оброблення біомедичних зображень з подальшою їх сегментацією, що дозволяє виділити ділянки зображень, які лікар класифікує як однорідні.

6. Показано, що оброблення за допомогою алгоритму паралельно-ієрархічного перетворення в пакеті в режимі «грубого-точного» оцінювання розмірів біомедичних зображень використання методу прямого-паралельно ієрархічного перетворення підвищує достовірність прогнозування на 5-10% більше, ніж інші.

7. Показано, що результати проведеного порівняння ефективності алгоритмів Кірша, Собела, Робертса, Уоллеса, SUSAN для оброблення біомедичних зображень за сукупністю сформованих інформаційних діагностичних ознак найбільш інформативними для сегментації зображень є алгоритми на основі фільтрації Кірша та нелінійного фільтра Собела.

8. Запропоновано функціональну схему системи для оцінювання динамічних змін біомедичних об'єктів на основі методу часткового Q-підсумовування, який дозволяє описувати динамічні зміни на зображеннях у вигляді поля векторів переміщення.

9. Розроблено систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка дозволяє проводити оцінювання стану судин та визначення кон'юнктивального індексу за такими показниками: співвідношення діаметрів артеріол і відповідних венул; нерівномірності калібру; меандричні звивистості; мікроаневризми; клубочки; сіткovidні структури судин; зміни кількості функціонуючих капілярів; артеріоло-венулярні анастомози; крововиливи; периваскулярні набряки; сладж-феномени; мікротромби.

10. Проведено аналіз достовірності оброблення біомедичних зображень шляхом обчислення достовірності системи без внесення до неї вдосконалень, яка складає 0,75 та достовірності системи із внесенням в неї покращень, яка

складає 0,8. Таким чином, достовірність оброблення біомедичних зображень збільшилась на 5 % за рахунок внесення в неї вдосконалень.

11. Проведені на кафедрі очних хвороб Вінницького національного медичного університету ім. М.Пирогова експериментальні дослідження із використанням системи для оцінювання біомедичних зображень стану судин очного дна ока підтвердили можливість оцінювати з високою достовірністю зображення, які відображають норму або патологічні випадки при діагностиці захворювань судин ока. Систему апробовано в Корпорації «Лазер та здоров'я» (м. Харків).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Нікітченко Н. П.<sup>1</sup> Основні етапи графічного конвеєру / В. А. Денисюк, Т. П. Нікітченко, Н. П. Нікітченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – № 12(130), Ч. 2. – С. 110-114. – ISSN 1998-7927.

2. Using of fuzzy expert method for diagnostic glaucoma / S. V. Pavlov, A. O. Rozhman, N. P. Babyuk, I. D. Ivasyuk // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 2(43). – С. 152-157. – ISSN 2219-9365.

3. Fuzzy expert opto-electronic system for the analysis of biomedical images (for example diagnosing glaucoma) / S. V. Pavlov, O. D. Azarov, N.P. Babyuk and other // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2013. – № 1(26). – С. 8-14. – ISSN 1999-9941.

4. Застосування оптико-електронних технологій для оброблення біомедичних зображень шляхом формування інформаційних ознак / С. В. Павлов, О. Д. Азаров, Д. В. Вовкотруб, Н. П. Бабюк // Проблеми інформатизації та управління. – 2013. – № 1(41). – С. 81-87. – ISSN 2073-4751.

5. Метод автоматического определения сегментационного порога для повышения качества прогнозирования параметров изображений / С. В. Павлов, А. А. Поплавский, А. А. Поплавская, Н. П. Бабюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – № 2 (26). – С. 8-12. - ISSN 1681-7893.

6. Оцінювання динамічних змін конфігурації зображень мікросудин кон'юнктиви ока / В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, П. Ф. Колісник, Н.П. Бабюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 1(27). – С. 95-103. – ISSN 1681-7893.

7. Метод класифікації зображень плям лазерних пучків із застосуванням паралельно-ієрархічної мережі із підвищеною точністю / Л.І. Тимченко, М. С. Петровський, Н. І. Кокряцька, Н. П. Бабюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 1(27). – С. 5-17. – ISSN 1681-7893.

8. Романюк О.Н. Модифікований алгоритм Раперта для тріангуляції поверхонь / О.Н. Романюк, Н.П. Нікітченко, О.П. Гончарук // Наука и

<sup>1</sup> Нікітченко Н.П. вважати Бабюк Н.П. у зв'язку із зміною прізвища.

предпринимательство : Международная научно-техническая конференция : сборник трудов, 14-17 сентября 2005 г., г. Винница-Ялта – Винница-Ялта, 2005. – С.79-80.

9. Нікітченко Н. П. Аналіз методу тіньових карт та його модифікація / Н. П. Нікітченко, Т. П. Нікітченко, В. Ф. Варкетин // Прогресивні інформаційні технології в науці та освіті : Міжвузівська науково-практична конференція : збірник наукових праць, 4-5 жовтня 2007 р., м. Вінниця. – Вінниця: Вінницький соціально-економічний інститут Університету «Україна», 2007. – С. 100-105.

10. Нікітченко Н. П. Основні етапи графічного конвеєру / В. А. Денисюк, Т. П. Нікітченко, Н. П. Нікітченко // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці : матеріали II Всеукраїнська науково-практична конференція, 8-10 квітня 2008 р., м. Луганськ. – Луганськ: Альма-матер, 2008. – С. 27-28.

11. Нікітченко Н. П. Методи перспективно-коректного накладання текстур / Н. П. Нікітченко, О. Н. Романюк // XXXVIII Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ : тези доповідей. – Вінниця, 2009. – С. 41.

12. Програмний модуль для порівняння зображень / О. В. Романюк, Т. М. Павлик, Н. П. Бабюк, О. Н. Романюк // Сучасні інформаційні технології 2011 : матеріали першої міжнародної конференції студентів і молодих науковців, 12-13 травня 2011 р., м. Одеса. – Одеса: Издательство, 2011. – С. 53-54.

13. Microfacet distribution function for physically based bidirectional reflectance distribution functions / O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, N. P. Babyuk and others // Optical Fibers and Their Applications 2012. Lublin and Naleczow, Poland, Code 96466. – ISBN 978-081949485-6.

14. Павлов С. В. Розробка біомедичної системи при діагностиці прогресування ІМР / С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, Н. П. Бабюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : Четверта Міжнародна науково-практична конференція : тези доповідей, 28-30 травня 2014 р., м. Вінниця – Вінниця: ВНТУ, 2014. – С. 86-88. – ISBN 978-966-641-465-9.

15. Патент на корисну модель 89910 Україна, МПК А61В 3/02. Оптико-електронний пристрій для дослідження дна ока / Павлов Сергій Володимирович, Вовкотруб Діна Вікторівна, Салдан Йосип Романович, Бабюк Наталя Петрівна; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № U 2013 06898; заявл. 01.06.2013; опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9. – 4 с.

16. Патент на корисну модель 94490 Україна, МПК А61В 3/06. Кореляційна система аналізу структурних змін мікросудин кон'юнктиви ока / Павлов Сергій Володимирович, Тимченко Леонід Іванович, Марченко Людмила Володимирівна, Колісник Петро Федорович, Романюк Сергій Олександрович, Бабюк Наталя Петрівна; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № U 2014 06807; заявл. 16.06.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 21. – 4 с.

**АНОТАЦІЯ**

**Бабюк Н.П. Метод та система оцінювання динамічних змін біомедичних зображень в офтальмології. - На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 - біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2016.

Роботу присвячено подальшому розвитку систем для оцінювання динамічних змін шляхом аналізу біомедичних зображень, що дозволяє автоматизувати етапи діагностики і здійснювати кількісний моніторинг патологічних змін судин.

В дисертаційній роботі розроблено математичну модель на основі просторово-зв'язного препарування для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка визначає характерні ознаки для досягнення інваріантності щодо повороту зображень і підвищує достовірність оброблення, удосконалено метод автоматичного вибору порогу градієнтного фільтра, який використовує дані, отримані градієнтними методами, що визначають оптимальний поріг і підвищують достовірність прогнозування швидкості динамічних змін біомедичних зображень, отримав подальший розвиток метод W-спектра зв'язності для аналізу біомедичних зображень шляхом фрагментування інформаційних ділянок в частині порівняння зображень із еталонними препаратами, що підвищує достовірність діагностування офтальмологічних захворювань.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що на основі розроблених теоретичних положень реалізовано систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень очного дна. Сформульовано рекомендації щодо створення системи для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень на прикладі визначення стану мікроциркуляції крові в судинах очного дна, показники якої дозволяють оцінювати адекватність дій щодо аналізу цифрових біомедичних зображень очного дна та розроблено систему для оцінювання динамічних змін біомедичних зображень, яка дозволяє проводити оцінювання стану судин та визначення кон'юнктивального індексу.

**Ключові слова:** паралельно-ієрархічне перетворення, метод W-спектра зв'язності, градієнтний фільтр, фрагментування інформаційних ділянок, біомедичні зображення, мікроциркуляції крові, судини очного дна, кон'юнктивальний індекс.

## **АННОТАЦІЯ**

**Бабюк Н.П. Метод и система для оценивания динамических изменений биомедицинских изображений в офтальмологии. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук за специальностью 05.11.17 - биологические и медицинские приборы и системы. - Винницкий национальный технический университет, Винница, 2016.

Работа посвящена дальнейшему развитию систем для оценки динамических изменений путем анализа биомедицинских изображений, что



позволяет автоматизировать этапы диагностики и осуществлять количественный мониторинг патологических изменений сосудов.

В диссертационной работе разработана математическая модель на основе пространственно-связного препарирования для оценки динамических изменений биомедицинских изображений, которая определяет характерные признаки для достижения инвариантности относительно поворота изображений и повышает достоверность обработки, усовершенствован метод автоматического выбора порога градиентного фильтра, который использует данные, полученные градиентными методами, определяющих оптимальный порог и повышают достоверность прогнозирования скорости динамических изменений биомедицинских изображений, получил дальнейшее развитие метод W-спектра связности для анализа биомедицинских изображений путем фрагментирования информационных участков в части сравнения изображений эталонными препаратами, повышает достоверность диагностики офтальмологических заболеваний.

Практическое значение полученных результатов заключается в том, что на основе разработанных теоретических положений реализована система для оценки динамических изменений биомедицинских изображений глазного дна. Показано, что на основе проведенного обоснования выбора алгоритмов для обработки биомедицинских изображений, наиболее информативными для сегментации изображений глазного дна алгоритм на основе фильтрации Кирша и нелинейного фильтра Собела. Усовершенствована алгоритм формирования диагностических признаков для оценки микроциркуляции крови в сосудах глазного дна в части использования шаблон-эталонов для сегментации биомедицинских изображений, что позволяет использовать участки изображений, которые врач классифицирует как однородные. Сформулированы рекомендации по созданию системы для оценки динамических изменений биомедицинских изображений на примере определения состояния микроциркуляции крови в сосудах глазного дна, показатели которой позволяют оценивать адекватность действий по анализу цифровых биомедицинских изображений глазного дна и разработана система для оценки динамических изменений биомедицинских изображений, которая позволяет проводить оценку состояния сосудов и определения конъюнктивного индекса по следующим показателям: по таким показателям: соотношение диаметров артериол и соответствующих венул; неравномерности калибра; меандрические извилистости; микроаневризмы; клубочки; сетевидные структуры сосудов; изменения количества функционирующих капилляров артериоло-венулярные анастомозы; кровоизлияния; периваскулярные отеки сладж-феномена; микротромбы.

Проведены экспериментальные исследования биомедицинских изображений микроциркуляции крови в сосудах глазного дна с помощью разработанной системы на кафедре глазных болезней Винницкого национального медицинского университета им. Пирогова. Методы и алгоритмы обработки биомедицинских изображений также внедрены в учебный процесс кафедры общей физики и фотоники и лазерной и оптоэлектронной техники Винницкого

национального технического университета), а также для проведения научных исследований на базе Корпорации «Лазер и здоровье», г. Харьков.

**Ключевые слова:** параллельно-иерархическое преобразование, метод W-спектра связности, градиентный фильтр, фрагментирование информационных участков, биомедицинские изображения, микроциркуляция крови, сосуды глазного дна, конъюнктивальный индекс.

## ABSTRACT

**Babyuk N.P. Method and System for Evaluation of Biomedical Images Dynamic Changes in Ophthalmology.** – A manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2016.

This dissertation is devoted to the further development of systems for the evaluation of dynamic changes by analysis of biomedical images that automates steps to perform diagnostics and quantitative monitoring of pathological changes of vessels.

The thesis developed a mathematical model based on spatially coherent preparation for evaluating dynamic changes biomedical image that defines the characteristic features to achieve invariance as to rotate images and increases the reliability of processing, improved method to automatically select the threshold gradient filter that uses data from the gradient methods that determine the optimal threshold and increase the reliability of forecasting dynamic speed changes biomedical images, further developed method W-spectrum of connectivity for the analysis of biomedical images by fragmentation of information in the areas of image comparison with reference drugs that increases the reliability of diagnosing of ophthalmic diseases.

The practical significance of the results is that in the developed theoretical positions implemented system for evaluating dynamic changes biomedical images of the fundus. Recommendations for creating a system to evaluate the dynamic changes of biomedical images on the example of determining the state of blood circulation in the vessels of the fundus, indicators which allow to assess the adequacy of action for analyzing digital biomedical images of the fundus and the system for evaluating dynamic changes biomedical images, which allows evaluation of the state conjunctival blood vessels and determining index.

**Keywords:** the parallel-hierarchical transformation, the method of the W-range connectivity, the gradient filter, the fragmentation of the informational sites, the biomedical images, the blood microcirculation, the vessels of the fundus, the conjunctival index.

Підписано до друку 07.04.2016 р. Формат 29.7×42 ¼  
Наклад 100 прим. Зам. № 2016-061  
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел. 59-81-59

