

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Заболотна Наталія Іванівна

УДК 681.7: 616-71

ДИСЕРТАЦІЯ

**БАГАТОПАРАМЕТРИЧНІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВІ
МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ
СТРУКТУРИ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ ПРИ
ОЦІНЮВАННІ ПАТОЛОГІЧНИХ СТАНІВ**

Спеціальність 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи
15 – Автоматизація та приладобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Н. І. Заболотна

Науковий консультант
Павлов Сергій Володимирович,
доктор технічних наук, професор

*Ідентичність дисертації
з першим примірником
підтверджую*

*Вчений секретар
Дисертаційної комісії*

Павлов С.В.
27.08.2018р.



Вінниця – 2018

АНОТАЦІЯ

Заболотна Н.І. Багатопараметричні поляризаційно-фазові методи і засоби відтворення та аналізу структури полікристалічних біологічних шарів при оцінюванні патологічних станів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. – Вінницький національний технічний університет, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми створення теоретичних засад, методів і засобів багатопараметричного поляризаційного відтворення та об'єктивного аналізу структури фазово-неоднорідних біологічних об'єктів, що дало можливість підвищити достовірність оцінювання патологічних станів в біомедичних системах поляризаційного діагностування гістологічних зрізів парціальних та багат шарових біологічних тканин (БТ) та плівок біологічних рідин (БР).

Запропоновано фундаментальну основу вирішення зазначеної проблеми на основі вперше знайдених та диференційованих взаємозв'язків вимірних координатних розподілів орієнтацій оптичних осей, фазових зсувів полікристалічних біологічних шарів (БШ) та елементів матриці Мюллера БШ та багат шарових БТ, із оптимальними станами поляризації опромінюючого лазерного пучка, які забезпечують можливість аналітичної селекції та інструментального відтворення оптичної анізотропії досліджуваних біологічних об'єктів при оцінюванні патологічних станів.

Отримано такі основні наукові результати:

– вперше запропоновано диференціацію на групи мюллер-матричних зображень гістологічних зрізів багат шарових БТ (плівок БР) за величинами двоприменезаломлення та орієнтації оптичних осей їх полікристалічних мереж. Це дозволило встановити взаємозв'язки статистичних, кореляційних і

фрактальних характеристик виділених груп координатних розподілів значень елементів матриць Мюллера багат шарової біологічної структури із аналогічними характеристиками розподілів орієнтації осей та величин двопронезаломлення полікристалічних мереж, які покладено в основу формування нових методів двовимірного поляризаційного відтворення структури БШ при оцінюванні патологічних станів багат шарових біологічних структур;

– отримали подальший розвиток методи двовимірного відтворення полікристалічної структури оптично тонких БШ на основі їх мюллер-матричного картографування при оцінюванні патологічних змін БШ, які доповнено комплексним аналізом статистичних характеристик (оцінок початкового моменту 1-го порядку та оцінок центральних моментів 2-го – 4-го порядку), визначених для координатних, автокореляційних розподілів та логарифмічних залежностей спектрів потужності розподілів значень відтворених орієнтаційних та фазових параметрів анізотропії БШ, що дозволило підвищити достовірність оцінювання патологічних станів;

– вперше запропоновано метод прямого відтворення та аналізу координатного розподілу орієнтаційних параметрів полікристалічної структури оптично тонкого БШ, який полягає у поляризаційно-кутовому скануванні БТ серією лазерних пучків, селекції відфільтрованих зображень при формуванні умов поляризаційної візуалізації детермінованих орієнтацій осей полікристалічної мережі БТ та оцінюванні ступеня випадковості, координатної однорідності та масштабної самоподібності отриманого розподілу, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання станів «норма – патологія» структури БШ;

– вперше розроблено метод прямої поляризаційної реконструкції та аналізу координатного розподілу фазових параметрів структури оптично тонкого БШ, який базується на прямому детектуванні координатного розподілу величини двопронезаломлення (фазових зсувів) шляхом узгодженої поляризаційно-фазової фільтрації лазерного зображення БШ, з подальшим оцінюванням ступеня випадковості, координатної однорідності та масштабної само-

подібності фазового розподілу, що дозволяє підвищити достовірність оцінювання станів «норма – патологія» структури БШ;

– вперше розроблено теоретичні основи мюллер-матричного відтворення координатних розподілів орієнтаційних та фазових параметрів структури «екранованих» зовні (внутрішніх) БШ двошарової біологічної тканини, які полягають у формуванні оптимального стану поляризації опромінюючого БШ лазерного пучка із гнучким стокс-поляриметричним зворотнім зв'язком та дозволяють підвищити достовірність поляризаційного діагностування патології реальних двокомпонентних біологічних тканин;

– вперше запропонована концепція побудови багатопараметричної системи поляризаційно-фазового відтворення та аналізу параметрів анізотропії БШ, яка за рахунок комплексного застосування методів прямого та мюллер-матричного відтворення розподілів орієнтаційних і фазових параметрів оптично тонких БШ відповідно парціальних та «екранованих» зовні БШ, а також комплексного статистичного аналізу координатних, автокореляційних розподілів та логарифмічних залежностей спектрів потужності розподілів значень вимірних параметрів, дозволила здійснити об'єктивне та достовірне оцінювання патологічних станів органів, при забезпеченні експериментальної гнучкості системи та розширених функціональних можливостях;

– вперше визначено метрологічні характеристики систем мюллер-матричного відтворення орієнтаційно-фазової структури БШ на основі запропонованих теоретичних основ комплексного статистичного, кореляційного та фрактального підходу до описання двомірних розподілів похибок. Це дозволило визначити сукупність нових об'єктивних критеріїв (коефіцієнти лінійності автокореляційних функцій, коефіцієнти фрактальності) для оцінювання та підвищення точності багатопараметричних поляризаційно-фазових систем відтворення та аналізу структури БШ при оцінюванні фізіологічних станів органів людини.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені теоретичні засади та новітні методи багатопараметричного поляризаційно-фазового відтворення та аналізу структури фазово-неоднорідних БШ парціальних та багат шарових біологічних структур становлять науково-методологічну основу розроблення відповідних біомедичних систем поляризаційного діагностування гістологічних зрізів парціальних та багат шарових БТ (плівок БР) з високою достовірністю.

Практичні результати, які отримано в дисертації, дозволили :

– розробити схемотехнічні рішення та програмно-алгоритмічні засоби для реалізації кожного із запропонованих методів, а також створити прототип системи, яка реалізує комплекс поляризаційно-фазових методів відтворення та аналізу параметрів структурної анізотропії БШ при оцінюванні патологічних станів з високою достовірністю. Це дає змогу визначати принципи подальшого вдосконалення подібних методів та засобів в системах біомедичної діагностики та судово-медичної експертизи;

– розробити програмне забезпечення для оцінювання двовимірних розподілів похибок систем мюллер-матричного картографування та відтворення поляризаційно-фазових параметрів структури БШ на основі комплексного статистичного, кореляційного та фрактального підходів. Це дозволяє об'єктивізувати оцінювання метрологічних характеристик систем зображальної поляриметрії БТ (БР) та сприяє пошуку шляхів покращення точності вимірювань та достовірності діагностування;

– порівняти запропоновані поляризаційно-фазові методи відтворення та аналізу полікристалічної структури біологічних шарів, реалізовані за допомогою створеної експериментальної установки мультифункціональної багатопараметричної автоматизованої системи, за показниками достовірності диференціації репрезентативних вибірок гістологічних зрізів тканини здорової та хворої на гепатит печінки пацієнтів;

– продемонструвати можливості оцінювання патологічних станів мо-

лочних залоз з високою достовірністю за методом поляризаційної реконструкції розподілу фазових параметрів полікристалічних плівок плазми крові.

Окремі результати дисертаційної роботи впровадили нижченазвані організації із підтвердженням відповідними актами про впровадження: комплексний аналіз відтворених параметрів анізотропії БШ впроваджено при розробці програмно-апаратного забезпечення поляризаційно-фазового мюллер-матричного засобу часового моніторингу та об'єктивного контролю посмертної трансформації параметрів оптичної анізотропії гістологічних зрізів органів людини для «Обласного бюро судово-медичної експертизи» Державної охорони здоров'я Чернівецької обласної державної адміністрації; методи відтворення та аналізу розподілів параметрів анізотропії структури БШ на основі мюллер-матричних зображень впроваджено під час проведення клінічних досліджень кафедрами Буковинського державного медичного університету: кафедрою клінічної імунології, алергології та ендокринології при диференціації патологій печінки та жовчного міхура за змінами двопротинезаломлення плівок жовчі людини, а кафедрою травматології, ортопедії та нейрохірургії при діагностуванні патологій колінного суглоба за змінами оптико-анізотропної складової плівок синовіальної рідини в системі мюллер-матричної томографії; методи прямого вимірювання та аналізу розподілів напрямів оптичних осей та фазових зсувів БТ впроваджено для дослідження параметрів анізотропії плівок органічних рідин у різних спектральних діапазонах оптичного випромінювання на кафедрі комп'ютерних систем і мереж Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича; поляризаційно-фазові методи відтворення параметрів структурної анізотропії плівок БР при оцінюванні патологічних станів впроваджено в навчальний процес кафедри судової медицини та медичного правознавства Буковинського державного медичного університету та кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету.

Ключові слова: біологічна тканина, біологічна рідина, біологічний шар,

біомедична система, достовірність діагностики, матриця Мюллера, полікристалічна біологічна мережа, поляризаційно-фазові методи відтворення анізотропії, система лазерної поляриметрії, оцінювання патологічного стану, статистичний аналіз, кореляційний аналіз, фрактальний аналіз.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Ушенко О.Г. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні рідини / [Ушенко О.Г., Бойчук Т.М., Заболотна Н.І. та ін.]; за ред. О.Г. Ушенка, Т.М. Бойчука – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. – С. 112–221.
2. Ушенко О.Г. Мюллер-матрична двовимірна томографія багатопланових полікристалічних мереж біологічних тканин і рідин / О.Г. Ушенко, Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – №2(20). – С. 156–162.
3. Заболотна Н.І. Аналітичні основи двовимірної мюллер-матричної томографії оптично товстих багатопланових біологічних тканин. Кореляційний і фрактальний підходи / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – №2. – С. 157–163.
4. Заболотна Н.І., Олійниченко Б.П. Принципи і методи поляризаційного картографування біологічних тканин / Заболотна Н.І., Б.П. Олійниченко // Фотобіологія та фотомедицина. – 2010. – №3,4. – С. 84–90.
5. Аналіз розподілів азимутів та еліптичностей поляризації лазерних зображень плазми крові для діагностики патологічних змін молочних залоз / О.П. Мінцер, С.В. Павлов, Н.І. Заболотна, Б.П. Олійниченко // Фотобіологія та фотомедицина. – 2011. – №1. – С. 118–123.

6. Заболотна Н.І. Система фазової мюллер-матричної томографії полікристалічних мереж біологічних тканин / Заболотна Н.І., Павлов С.В., Олійниченко Б.П. // Клінічна інформатика і телемедицина. – 2011. –Т.7.– Вип.8. – С. 70–75.

7. Заболотна Н.І. Моделювання та аналіз мюллер-матричних зображень багат шарових полікристалічних мереж з детермінованими розподілами орієнтаційних та фазових параметрів / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота, Ю.Ю. Левандовська, О.Д. Вербо́вце́вка // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – №1(21). – С. 82–92.

8. Заболотна Н.І. Аналітичні основи поляризаційного картографування багат шарових двопроренезаломлюючих полікристалічних мереж / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – №2(22). – С. 110–117.

9. Заболотна Н.І. Система орієнтаційної мюллер-матричної томографії полікристалічних мереж біологічних кристалів / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов., В.В. Шолота, С.Є. Тужанський // Фотобіологія та фотомедицина. – 2011. – №2. – С. 100–106.

10. Ушенко О.Г. Принципи і методи мюллер-матричної томографії багат шарових оптично товстих біологічних тканин / О.Г. Ушенко, Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №1. – С. 157–162.

11. Заболотна Н.І. Поляризаційне картографування багат шарових біологічних тканин. Оптично товсті шари. / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №3. – С. 106–110.

12. Заболотна Н.І. Аналіз оптичних і поляризаційно-кореляційних приладів і систем для діагностики фазово-неоднорідної структури шарів біологічних тканин і рідин / Н.І. Заболотна, О.Г. Ігнатенко, К.О. Радченко, А.К. Краснощока // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2012. – №2(24). – С. 95–107.

13. Заболотна Н.І. Архітектура і алгоритми функціонування та аналізу даних двовимірних систем лазерної поляриметрії біологічних тканин / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – №1(25). – С. 54–65.
14. Заболотна Н.І. Статистична, кореляційна і фрактальна структура мюллер–матричних зображень багат шарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко, С.В. Костюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2013. – №2(26).– С. 58–66.
15. Заболотна Н.І. Діагностичні обмеження мюллер-матричної томографії оптично товстих багат шарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, С.В. Костюк, О.В. Дроненко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2013. –№2. – С. 140–146.
16. Заболотна Н.І. Застосування поляризаційного картографування двошарових біологічних об'єктів для діагностики стану одного з парціальних шарів / Н.І.Заболотна, С.В. Павлов, І.Д. Івасюк // Фотобіологія та фотомедицина. – 2013. – №1,2 – С. 129–133.
17. Zabolotna N.I. Diagnostic capabilities of polarization reproduction of Mueller-matrix images of the cervix subsurface tissue layer / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №1. – С. 159–163.
18. Заболотна Н.І. Аналіз похибок визначення матриці Мюллера біологічного шару в системі двовимірного мюллер-матричного картографування / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – №2. – С. 62–70.
19. Заболотна Н.І. Діагностичні можливості орієнтаційної та фазової мюллер-матричної томографії полікристалічних мереж плазми крові / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов // Фотобіологія і фотомедицина. – 2014. – №3,4. – С. 101–106.
20. Заболотна Н.І. Інтелектуалізована система поляризаційного картографування плівок плазми крові у діагностиці онкологічного стану молочних

залоз / Н.І. Заболотна, Д.Ю. Локотей, Б.П. Олійниченко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – №1 (31) – С. 39–46.

21. Заболотна Н.І. Інтелектуальний аналіз даних в системі мюллер-матричного картографування плазми крові при ідентифікації раку шлунку / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2017. – №1 (33) – С. 40–48.

22. Zabolotna N.I. Principals and methods of Mueller-matrix tomography of multilayer biological tissues / N.I. Zabolotna, I.V. Musiichuk // Proc. SPIE. – 2011. – Vol. 8338. – 833810; doi: 10.1117/12.920930.

23. Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland / O.P. Mintser, N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, P. Komada // Proc. SPIE. – 2012. – Vol. 8698. – 86980D; doi: 10.1117/12.2019714.

24. Zabolotna N.I. Orientational tomography of optical axes directions distributions of multilayer biological tissues birefringent polycrystalline networks / N.I. Zabolotna, R.Y. Dovhaliuk // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8873. – 887313; doi: 10.1117/12.2048634.

25. Zabolotna N.I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9205. – 92050V; doi: 10.1117/12.2062140.

26. System of polarization phasometry of polycrystalline blood plasma networks in mammary gland pathology diagnostics / N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, K.O. Radchenko, A.K. Krasnoshchoka, O.K. Shcherba // Proc. of SPIE. – 2015. – Vol. 9613. – 961311; doi: 10.1117/12.2187383.

27. Diagnostic efficiency of mueller-matrix polarization reconstruction system of the phase structure of liver tissue / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, K.O. Radchenko, V.A. Stasenko, W. Wójcik, N. Kussambayeva // Proc. SPIE. – 2015. – Vol. 9816. – 98161E; doi: 10.1117/12.2229018.

28. Zabolotna N.I. System of Mueller-Jones matrix polarizing mapping of blood plasma films in breast pathology / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko,

M.H. Tarnovskiy // Proceedings of SPIE. – 2017. – Vol. 10407.–1040714; doi: 10.1117/12.2273199.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

29. Заболотна Н.І. Система мюллер-матричної томографії орієнтаційної структури полікристалічних мереж біологічних тканин / Н.І. Заболотна // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011): Перша Міжнар. наук. конфер., 18-20 жовтня 2011р.: зб. тез допов.- Вінниця, 2011. – С. 214.

30. Павлов С.В. Можливості методу поляризаційного картографування двошарових об'єктів для діагностики фізіологічного стану одного з його парціальних шарів/ С.В. Павлов, Н.І. Заболотна // Применение лазеров в медицине и биологии: XXXVI Междунар. науч.-практ. конф., 5-8 октября 2011 г.: материалы. – Судак, 2011. – С. 168–169.

31. Заболотна Н.І. Методи аналізу лазерних поляризаційних зображень оптично тонких шарів багатошарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота, О.Г. Чередник, І.В. Колотченко // Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень: Міжнар. наук.-техн. Internet – конф.: зб. наук. праць - Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 67–74.

32. Заболотна Н.І. Лазерна поляриметрія двошарових біологічних тканин для діагностики фізіологічного стану одного з парціальних шарів / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, Р. Ровіра // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Одинадцята міжнар. наук.-техн. конф., 5 – 8 червня 2012 р.: матеріали . – Хмельницький, 2012. – С. 30–31.

33. Заболотна Н.І. Метод поляризаційного відтворення оптико-анізотропної структури підповерхневого шару двошарової біотканини та система для його реалізації / Н.І. Заболотна // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-12»: VI Міжнар. наук. – практич. конф., 1-4 жовтня 2012 р.: зб. тез допов. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2012. – С. 114.

34. Заболотна Н.І. Система двовимірної багатопараметричної мюллер-матричної поляриметрії для діагностики оптико-анізотропної структури багаточарових біологічних тканин / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, В.Б. Василенко, Х.Р. Ровіра // Застосування лазерів у медицині та біології: XXXVIII міжнар. наук. – практ. конф., 3-6 жовтня 2012 р.: матеріали допов. – Ялта, 2012. – С. 160–161.

35. Заболотна Н.І. Комплексний аналіз зображень в поляризаційній системі 2D мюллер-матричного картографування біологічних тканин / Н.І. Заболотна, С.В. Костюк, К.О. Радченко // Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації: Четверта міжнар. наук. – практ. конф., 23-25 квітня 2013 р.: зб. тез допов. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2013. – С. 329–332.

36. Заболотна Н.І. Прямі методи орієнтаційної і фазової томографії оптично тонких зразків біологічних тканин / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко, С.В. Костюк // Застосування лазерів у медицині та біології: XXXIX міжнар. наук. – практ. конф., 22-24 травня 2013 р.: матеріали допов. – Х., 2013. – С. 149-151.

37. Заболотна Н.І. Інформаційна технологія діагностики полікристалічних мереж двопротенезаломлювальних біологічних структур / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, О.К. Радченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: Четверта Міжнар. наук. – практ. конф., 28 – 30 травня 2014 р.: матер. допов. – Вінниця, 2014. – С. 83–85.

38. Заболотна Н.І. Інформативність методів картографування еліптичностей поляризації лазерних мікроскопічних зображень плівок плазми крові у діагностиці онкологічних змін молочних залоз / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, Б.П. Олійниченко // Застосування лазерів у медицині та біології: XXXXII Міжнар. наук. – практ. конф., 11-13 грудня 2014 р., Яремче: матер. допов. – Яремче, 2014. – С. 151–154.

39. Заболотна Н.І. Ефективність системи поляризаційної орієнтаційної томографії гістологічних зрізів у діагностиці патології печінки пацієнтів /

Н.І. Заболотна, С.В. Павлов, К.О. Радченко, А.К. Краснощока // Застосування лазерів у медицині та біології: XLIII Міжнар. наук.- практ. конф., 27 – 30 травня 2015 г.: матер. допов. – Х., 2015. – С.127–129.

40. Заболотна Н.І. Системи поляризаційної орієнтаційної і фазової томографії для діагностики оптико-анізотропних параметрів біологічних тканин / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС – 2015»: VII міжнар. наук.-техн. конфер. 21- 23 квітня 2015 р.: зб. тез допов.– Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 58.

41. Заболотна Н.І. Система мюллер-джонс-матричної поляризаційної діагностики структури полікристалічних мереж плазми крові людини / Н.І. Заболотна, К.О. Радченко // Применение лазеров в медицине и биологии: XLIV Междунар. науч.-практ. конф., 26 – 28 мая 2016 г.: – Тезисы докл. – Х., 2016. – С. 163–164.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

42. Заболотна Н.І. Діагностичне застосування систем орієнтаційної та фазової мюллер-матричної томографії у диференціації патології печінки пацієнтів / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №1. – С. 144–150.

43. Заболотна Н.І. Інформативність систем поляризаційної фазової томографії у диференціації патології печінки / Н.І. Заболотна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №2. – С. 126–131.

44. Заболотна Н.І. Похибки вимірювань референтних матриць Мюллера в системі мюллер-матричного картографування біологічних шарів / Н.І. Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – №1 (29) – С. 109–117.

45. Заболотна Н.І. Метрологічні характеристики розподілів похибок вимірювання в системі мюллер-матричного картографування шарів

біологічних тканин / Н.І. Заболотна, С.В. Павлов // Фотобіологія та фотомедицина. – 2015. – №1,2. – С. 89–95.

46. Пат. на корисну модель №61160 Україна, МПК G 01 N 33/48. Спосіб вимірювання мюллер-матричних зображень оптико-анізотропних шарів біологічних об'єктів / Заболотна Н.І., Ушенко О.Г.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201015393; заявл. 20.12.2011; опубл.11.07.2011, Бюл.№13.

47. Пат. на корисну модель №70125 Україна, МПК G01N33/00; A61B5/00. Спосіб вимірювання фазових мап оптико-анізотропних шарів біологічних об'єктів / Заболотна Н.І., Ушенко О.Г., Олійниченко Б.П. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201113973; заявл. 28.11.2011; опубл.25.05.2012, Бюл.№10.

48. Пат. на корисну модель №70756 Україна, МПК G01N33/00. Спосіб вимірювання фазових томограм полікристалічних мереж оптико-анізотропних шарів біологічних тканин / Заболотна Н.І., Шолота В.В., Чередник О.Г. ; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – №u201114314; заявл.05.12.2011; опубл.25.06.2012, Бюл.№12.

49. Пат. на корисну модель № 86607 Україна, МПК G01N 33/48, A61B 5/00. Спосіб вимірювання мюллер-матричної орієнтаційної томограми полікристалічних мереж оптико-анізотропних шарів біологічних тканин / Заболотна Н.І., Павлов С.В., Костюк С.В., Колотченко І.В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201306576; заявл. 27.05.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. №1.

50. Пат. на корисну модель № 102237 Україна, МПК G01N 33/48, G01N 21/00. Спосіб вимірювання орієнтаційних томограм полікристалічних мереж оптико-анізотропних шарів біологічних тканин / Заболотна Н.І.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201503161; заявл. 06.04.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл.№20.

ABSTRACT

Zabolotna N.I. Multiparameter polarization-phase methods and means of reconstruction and analysis of the polycrystalline biological layers structure in the process of pathological states assessment - Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for a Doctor`s of Science (Engineering) Degree on Specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – Vinnytsia National Technical University, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2018.

Dissertation is dedicated to the solution of the vital scientific-applied problem, aimed at elaboration of theoretical fundamentals, methods and means of multiparameter polarization reconstruction and unbiased analysis of the phase-heterogeneous biological objects structure that enabled to enhance the validity of pathological states assessment in biomedical systems of polarization diagnostic of the histologic sections of fractional and multilayered biological tissues (BT) and films of biological fluids (BF).

Fundamental basis for the solution of the above-mentioned problem, based on the interconnections, of found and differentiated for the first time, between the measured coordinate distributions of optical axes orientations, phase shifts of polycrystalline biological layers (BL) and Mueller matrix elements of BF and multilayered BT and optimal polarization states of irradiating laser beam which provide the possibility of the analytical selection and instrumental reproduction of the optical anisotropy of the investigated biological objects in the process of pathological states assessment, is suggested.

Such basic scientific results have been obtained:

– for the first time differentiation for groups of mueller-matrix images of histological sections of multilayered BT (films of BF) by the optical axes orientations and values of polycrystalline biological networks birefringence is suggested. This enabled to establish the interrelations of the statistic, correlation and

fractal characteristics of the above-mentioned groups of the coordinate distributions of Mueller matrices values of multilayered biological structure with the analogous characteristics of axes orientation distributions and birefringence values of polycrystalline biological networks which are the basis for the formation of new methods of polarization reproduction of BL structure for the assessment of pathological states of multilayers biological structures;

– methods of 2D reconstruction of the polycrystalline structure of optically-thin BL on the base of their mueller-matrix mapping for the assessment of the pathological states gained further development, these methods are completed by the complex analysis of statistic characteristics (an estimate of the initial moment of 1st order and an estimate of the central moments of the 2nd – 4th orders), which describe the coordinate, autocorrelative distributions and the logarithmic dependencies of the spectra of the power of distributions of reproduced orientational and phase parameters of BL anisotropy, that enabled to improve the validity of the pathological state assessment;

– for the first time the method of the direct reconstruction and the analysis of the coordinate distribution of orientational parameters of polycrystalline structure of optically thin BL was suggested; the given method is based on polarization-angular scanning of BL by a series of laser beams, selection of the filtered images in the process of the formation of the conditions of the polarization visualization of the determined directions of the axes of the polycrystalline networks of BL orientation and assessment of the degree of randomness, coordinate uniformity and scale self-similarity of the obtained distribution. It enabled improve the validity of evaluation of «norm – pathology» of BL structure state;

– for the first time, the method of direct polarization reconstruction and the analysis of the coordinate distribution of phase parameters of optically-thin BL structure is developed, the given method is based on the direct detecting of the coordinate distribution of the birefringence value (phase shifts) by means of coordinated polarization-phase filtration of BL laser image, with further assessment of randomness degree, coordinate uniformity and scale self-similarity of the phase

distribution. It enabled improve the validity of «norm-pathology» BL structure states assessment;

– for the first time, theoretical fundamentals of mueller-matrix reconstruction of the coordinate distributions of the orientational and phase parameters of the structure of the «screened» from the outside (internal) BL of two-layered biological tissue, based on the formation of the optimal state of the laser beam, irradiating BL, with flexible stokes-polarimetric feedback were developed. It allowed to improve the validity of the polarization diagnostics of the pathology of the real two-component biological tissue;

– for the first time the concept, aimed at the construction of multiparameter system of polarization-phase reconstruction and analysis of the parameters of BL anisotropy is suggested, the given concept enabled, at the expense of the complex application of methods of the direct and mueller-matrix reconstruction of the distributions of the orientational and phase parameters of the optically-thin BL correspondingly fractional and «screened» from the outside BL and complex statistic analysis of the coordinate, autocorrelative distributions and the logarithmic dependencies of the spectra of the power of distributions of measured parameters, to provide objective and reliable assessment of the pathological states of the organs, providing the experimental flexibility of the system and extended functional possibilities;

– for the first time, metrological characteristics of the systems of Mueller-matrix reproduction of the orientational-phase structure of BL on the base of the suggested theoretical fundamentals of the complex statistic, correlative and fractal approach to the description of 2D error distributions are determined. It allowed to determine the set of new objective criteria (linearity coefficients of autocorrelative functions, fractality coefficients) for the assessment and accuracy increase of multiparameter polarization-phase systems of reproduction and analysis of BL structure in the process of the assessment of human organs physiological states.

The practical value of results obtained is that developed theoretical basis and new methods of multiparameter polarization-phase reproduction and analysis of the objects of phase-heterogeneous BL of fractiunal and multilayered biological

structures constitute scientific-methodological basis of development of biomedical systems of polarization diagnosis of histologic sections of fractional and multilayered BT (films BL) with high validity.

Practical results, obtained in the dissertation allowed:

- develop circuit-engineering solutions and program-algorithm tools of the systems for the realization of each of the suggested methods and create the prototype of the system that performs the complex of the suggested methods of measuring and analysis of BL anisotropy parameters in the process of the assessment of pathological states with high validity. This enables to determine the principles of improvement of the similar methods and means in the systems of biomedical diagnostics and forensic medical examination;

- develop the software for the assessment of 2D distributions of mueller-matrix mapping system errors and for the reproduction of the polarization-phase parameters of BL structure, based on complex statistical, correlative and fractal approaches. This enables to objectivize the assessment of the metrologic characteristics of image polarimetry systems of BT (BL) and promotes the search of the ways of improving measurements accuracy and validity of diagnostics;

- compare the suggested polarization-phase methods of the reproduction and analysis of biological layers polycrystalline structure, realized by means of created prototype of multifunctional multiparameter automated system, by the confidence indices of representative samples differentiation of histologic sections of the health rats and the rats, affected by the hepatitis tissues;

- demonstrate the possibility of the assessment of mammary glands pathologic states with high accuracy, applying the method of polarization reconstruction of phase parameters distribution of blood plasma polycrystalline films.

Separate results of the dissertation research were implemented by the institutions and organizations, mentioned below, the results of the implementation are certified by the appropriate implementation reports: complex analysis of the reproduced parameters of BL anisotropy in the process of the development of hardware-software facilities of the polarization-phase Mueller-matrix tool of time monitoring and objective

control of postmortal transformation of the parameters of optical anisotropy of human organs histologic sections for «Regional Office of the Chief Medical Examiner» of Chernivtsi Regional Administration Health Service Department; methods of reproduction and analysis of anisotropy parameters of distribution of BL structure on the base of Mueller-matrix images in the process of performing clinical research by the Departments of Bukovynskiy State Medical University: Department of Clinical Immunology, Allergology and Endocrinology – in the process of differentiation of the hepatopathy and gall bladder by the changes of birefringence of the human gall films; by the Department of Traumatology, orthopedics and neurosurgery – in the process of the pathologies of the knee joint diagnostics by the changes of optical-anisotropic component of the synovial fluid films in the system of Mueller-matrix tomography; methods of the direct measurement and analyses of the distributions of optical axes directions and phase shifts of BT for the investigation of the anisotropy parameters of organic fluids films in various spectral bands of optical radiation were implemented at the Department of Computer Systems and Networks of Chernivtsi Yuri Fedkovych National University; polarization-phase methods of the reproduction of the structural anisotropy parameters for the assessment of the pathologic changes were implemented in educational process of the Department of Forensic Medicine and Medical Jurisprudence of Bukovynskiy State Medical University and Department of Laser and Optoelectronic Engineering of Vinnytsia National Technical University.

Keywords: biological tissue, biological fluid, biological layer, biomedical system, diagnostic reliability, Mueller matrix, polycrystalline biological network, polarization-phase methods for the reconstruction of anisotropy, system of laser polarimetry, evaluation of the pathological state, statistical analysis, correlation analysis, fractal analysis.

List of applicant's publications

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published

1. Ushenko A.G. Osnovy lazernoi poliarymetrii. Biolohichni ridyny / [Ushenko A.G., Boichuk T.M., Zabolotna N.I. ta in.]; za red. O.H. Ushenka, T.M. Boichuka – Chernivtsi: Chernivetskyi nats. un-t, 2011. – S. 112–221.
2. Ushenko A.G. Miuller-matrychna dvovymirna tomohrafiia bahatosharovykh polikrystalichnykh merezh biolohichnykh tkanyn i ridyn / A.G. Ushenko, N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2010. – №2(20). – S. 156–162.
3. Zabolotna N.I. Analitychni osnovy dvovymirnoi miuller-matrychnoi tomohrafii optychno tovstykh bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn. Koreliatsiinyi i fraktalnyi pidkhody / N.I. Zabolotna // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2010. – №2. – S. 157-163.
4. Zabolotna N.I., Oliinychenko B.P. Pryntsypy i metody poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia biolohichnykh tkanyn / Zabolotna N.I., B.P. Oliinychenko // Fotobiolohiia ta fotomedytsyna. – 2010. – №3,4. – S. 84-90.
5. Analiz rozpodiliv azymutiv ta eliptychnosti poliaryzatsii lazernykh zobrazhen plazmy krovi dlia diahnostryky patolohichnykh zmin molochnykh zaloz / O.P. Mintser, S.V. Pavlov, N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko // Fotobiolohiia ta fotomedytsyna. – 2011. – №1. – S. 118-123.
6. Zabolotna N.I. Systema fazovoi miuller-matrychnoi tomohrafii polikrystalichnykh merezh biolohichnykh tkanyn / Zabolotna N.I., Pavlov S.V., Oliinychenko B.P. // Klinichna informatyka i telemedytsyna. – 2011. – T.7. – Vyp.8. – S. 70–75.
7. Zabolotna N.I. Modeliuvannia ta analiz miuller-matrychnykh zobrazhen bahatosharovykh polikrystalichnykh merezh z determinovanymy

rozpodilamy oriiientatsiinykh ta fazovykh parametriv / N.I. Zabolotna, V.V. Sholota, Yu.Iu. Levandovska, O.D. Verbovetska // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2011. – №1(21). – S. 82-92.

8. Zabolotna N.I. Analitychni osnovy poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia bahatosharovykh dvopromenezalomliuiuchykh polikrystalichnykh merezh / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2011. – №2(22). – S. 110-117.

9. Zabolotna N.I. Systema oriiientatsiinoi miuller-matrychnoi tomohrafii polikrystalichnykh merezh biolohichnykh krystaliv / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov., V.V. Sholota, S.Ye. Tuzhanskyi // Fotobiolohiia ta fotomedytsyna. – 2011. – №2. – S. 100-106.

10. Ushenko A.G. Pryntsypy i metody miuller-matrychnoi tomohrafii bahatosharovykh optychno tovstykh biolohichnykh tkanyn / A.G. Ushenko, N.I. Zabolotna // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2012. – №1. – S. 157-162.

11. Zabolotna N.I. Poliaryzatsiine kartohrafuvannia bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn. Optychno tovsti shary. / N.I. Zabolotna // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2012. – №3. – S. 106-110.

12. Zabolotna N.I. Analiz optychnykh i poliaryzatsiino-koreliatsiinykh prykladiv i system dlia diahnostyky fazovo-neodnorodnoi struktury shariv biolohichnykh tkanyn i ridyn / N.I. Zabolotna, O.H. Ihnatenko, K.O. Radchenko, A.K. Krasnoshchoka // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2012. – №2(24). – S. 95-107.

13. Zabolotna N.I. Arkhitektura i alhorytmy funktsionuvannia ta analizu danykh dvovymirnykh system lazernoi poliarymetrii biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2013. – №1(25). – S. 54-65.

14. Zabolotna N.I. Statystychna, koreliatsiina i fraktalna struktura miuller-matrychnykh zobrazhen bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna,

K.O. Radchenko, S.V. Kostiuk // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2013. – №2(26). – S. 58-66.

15. Zabolotna N.I. Diahnostychni obmezhenia miuller-matrychnoi tomografii optychno tovstyx bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, S.V. Kostiuk, O.V. Dronenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2013. – №2. – S. 140-146.

16. Zabolotna N.I. Zastosuvannia poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia dvosharovykh biolohichnykh obiektiv dlia diahnostyky stanu odnogo z partsialnykh shariv / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, I.D. Ivasiuk // Fotobiolohiia ta fotomedytsyna. – 2013. – №1,2 – S. 129-133.

17. Zabolotna N.I. Diagnostic capabilities of polarization reproduction of Mueller-matrix images of the cervix subsurface tissue layer / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2014. – №1. – S. 159–163.

18. Zabolotna N.I. Analiz pokhybok vyznachennia matrytsi Miullera biolohichnogo sharu v systemi dvovymirnoho miuller-matrychnoho kartohrafuvannia / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2014. – №2. – S. 62–70.

19. Zabolotna N.I. Diahnostychni mozhlyvosti orientatsiinoi ta fazovoi miuller-matrychnoi tomografii polikrystalichnykh merezh plazmy krovi / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov // Fotobiolohiia i fotomedytsyna. – 2014. – №3,4. – S. 101-106.

20. Zabolotna N.I. Intelktualizovana systema poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia plivok plazmy krovi u diahnostytsi onkolohichnogo stanu molochnykh zaloz / N.I. Zabolotna, D.Yu. Lokotei, B.P. Oliinychenko // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2016. – №1 (31) – S. 39-46.

21. Zabolotna N.I. Intelktualnyi analiz danykh v systemi miuller-matrychnoho kartohrafuvannia plazmy krovi pry identyfikatsii raku shlunku / N.I. Zabolotna, V.V. Sholota // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2017. – №1 (33) – S. 40-48.

22. Zabolotna N.I. Principals and methods of Mueller-matrix tomography of multilayer biological tissues / N.I. Zabolotna, I.V. Musiichuk // Proc. SPIE. – 2011. – Vol. 8338. – 833810; doi: 10.1117/12.920930.

23. Differential phase analysis of laser images of a polycrystalline component of blood plasma in diagnostics of pathological changes in mammary gland / O.P. Mintser, N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, P. Komada // Proc. SPIE. – 2012. – Vol. 8698. – 86980D; doi: 10.1117/12.2019714.

24. Zabolotna N.I. Orientational tomography of optical axes directions distributions of multilayer biological tissues birefringent polycrystalline networks / N.I. Zabolotna, R.Y. Dovhaliuk // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8873. – 887313; doi: 10.1117/12.2048634.

25. Zabolotna N.I. A multifunctional automated system of 2D laser polarimetry of biological tissues / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2014. – Vol. 9205. – 92050V; doi: 10.1117/12.2062140.

26. System of polarization phasometry of polycrystalline blood plasma networks in mammary gland pathology diagnostics / N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, K.O. Radchenko, A.K. Krasnoshchoka, O.K. Shcherba // Proc. of SPIE. – 2015. – Vol. 9613. – 961311; doi: 10.1117/12.2187383.

27. Diagnostic efficiency of mueller-matrix polarization reconstruction system of the phase structure of liver tissue / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, K.O. Radchenko, V.A. Stasenko, W. Wójcik, N. Kussambayeva // Proc. SPIE. – 2015. – Vol. 9816. – 98161E; doi: 10.1117/12.2229018.

28. Zabolotna N.I. System of Mueller-Jones matrix polarizing mapping of blood plasma films in breast pathology / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko, M.H. Tarnovskiy // Proc. SPIE. – 2017. – Vol. 10407. – P. 1040714; doi: 10.1117/12.2273199.

Scientific work which testify the approbation of the materials of the dissertation

29. Zabolotna N.I. Systema miuller-matrychnoi tomografii oriiientatsiinoi struktury polikrystalichnykh merezh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna // Vymiriuvannia, kontrol ta diahnostyka v tekhnichnykh systemakh (VKDTS-2011): Persha Mizhnar. nauk. konfer., 18-20 zhovtnia 2011r.: zb. tez dopov.- Vinnytsia, 2011. – S. 214.

30. Pavlov S.V. Mozhlyvosti metodu poliaryzatsiinoho kartohrafuvannia dvosharovykh obiektiv dlia diahnostyky fiziolohichnoho stanu odnogo z yoho partsialnykh shariv/ S.V. Pavlov, N.I. Zabolotna // Primenenie lazerov v meditsinie i biologii: XXXVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 5-8 oktiabria 2011 h.: materyaly. – Sudak, 2011. – S. 168-169.

31. Zabolotna N.I. Metody analizu lazernykh poliaryzatsiinykh zobrazhen optychno tonkykh shariv bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, V.V. Sholota, O.H. Cherednyk, I.V. Kolotchenko // Kompiuterna hrafika ta rozpoznavannia zobrazhen: Mizhnar. nauk.-tekh. Internet – konf.: zb. nauk. prats - Vinnytsia: VNTU, 2012. – S. 67–74.

32. Zabolotna N.I. Lazerna poliarymetriia dvosharovykh biolohichnykh tkanyn dlia diahnostyky fiziolohichnoho stanu odnogo z partsialnykh shariv / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, R. Rovira // Vymiriuvanna ta obchysliuvanna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: Odynadtsiata mizhnar. nauk.-tekh. konf., 5-8 chervnia 2012 r.: materialy . – Khmelnytskyi, 2012. – S. 30–31.

33. Zabolotna N.I. Metod poliaryzatsiinoho vidtvorennia optyko-anizotropnoi struktury pidpoverkhnevoho sharu dvosharovoi biotkanyny ta systema dlia yoho realizatsii / N.I. Zabolotna // Optoelektronni informatsiini tekhnolohii «Fotonika ODS-12»: VI Mizhnar. nauk. – prakt. konf., 1-4 zhovtnia 2012 r.: zb. tez dopov. – Vinnytsia: PP «TD «Edelveis i K», 2012. – S. 114.

34. Zabolotna N.I. Systema dvovymirnoi bahatoparmetrychnoi miuller-matrychnoi poliarymetrii dlia diahnostyky optyko-anizotropnoi struktury

bahatosharovykh biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, V.B. Vasylenko, Kh.R. Rovira // Zastosuvannia lazeriv u medytsyni ta biolohii: XXXVIII mizhnar. nauk. – prakt. konf., 3-6 zhovtnia 2012 r.: materialy dopov. – Yalta, 2012. – S. 160–161.

35. Zabolotna N.I. Kompleksnyi analiz zobrazhen v poliaryzatsiinii systemi 2D miuller-matrychnoho kartohrafuvannia biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, S.V. Kostiuk, K.O. Radchenko // Metody ta zasoby koduvannia, zakhystu y ushchilnennia informatsii: Chetverta mizhnar. nauk. – prakt. konf., 23-25 kvitnia 2013 r.: zb. tez dopov. – Vinnytsia: PP «TD Edelveis i K», 2013. – S. 329–332.

36. Zabolotna N.I. Priami metody orientatsiinoi i fazovoi tomohrafii optychno tonkykh zrazkiv biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko, S.V. Kostiuk // Zastosuvannia lazeriv u medytsyni ta biolohii: XXXIX mizhnar. nauk. – prakt. konf., 22-24 travnia 2013 r.: materialy dopov. – Kh., 2013. – S. 149-151.

37. Zabolotna N.I. Informatsiina tekhnolohiia diahnostyky polikrystalichnykh merezh dvopromenezalomliuvalnykh biolohichnykh struktur / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, O.K. Radchenko // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia: Chetverta Mizhnar. nauk. – prakt. konf., 28-30 travnia 2014 r.: mater. dopov. – Vinnytsia, 2014. – S. 83–85.

38. Zabolotna N.I. Informatyvni metody kartohrafuvannia eliptychnosti poliaryzatsii lazernykh mikroskopichnykh zobrazhen plivok plazmy krovi u diahnostytsi onkologichnykh zmin molochnykh zaloz / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, B.P. Oliinychenko // Zastosuvannia lazeriv u medytsyni ta biolohii: XXXXII Mizhnar. nauk. – prakt. konf., 11-13 hrudnia 2014 r., Yaremche: mater. dopov. – Yaremche, 2014. – S. 151–154.

39. Zabolotna N.I. Efektyvnist systemy poliaryzatsiinoi orientatsiinoi tomohrafii histologichnykh zriziv u diahnostytsi patolohii pechinky patsiukiv / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, K.O. Radchenko, A.K. Krasnoshchoka //

Zastosuvannia lazeriv u medytsyni ta biolohii: KhLIII Mizhnar. nauk.- prakt. konf., 27-30 travnia 2015 h.: mater. dopov. – Kh., 2015. – С.127–129.

40. Zabolotna N.I. Systemy poliaryzatsiinoi oriientsatsiinoi yii fazovoi tomografii dlia diahnostryky optyko-anizotropnykh parametriv biolohichnykh tkanyh / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiini tekhnolohii «Fotonika ODS – 2015»: VII mizhnar. nauk.-tehn. konfer. 21- 23 kvitnia 2015 r.: zb. tez dopov.– Vinnytsia: VNTU, 2015. – S. 58.

41. Zabolotna N.I. Systema miuller-dzhons-matrychnoi poliaryzatsiinoi diahnostryky struktury polikrystalichnykh merezh plazmy krovi liudyny / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko // Prymenenye lazerov v medytsyne y byolohyy: XLIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 26 – 28 maia 2016 h.: – Tezysy dokl. – Kh., 2016. – S. 163–164.

Scientific works which additionally reflect the scientific results of the dissertation

42. Zabolotna N.I. Diahnostychnе zastosuvannia system oriientsatsiinoi ta fazovoi miuller-matrychnoi tomografii u dyferentsiatsii patolohii pechinky patsiukiv / N.I. Zabolotna // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – №1. – S. 144–150.

43. Zabolotna N.I. Informatyvnist system poliaryzatsiinoi fazovoi tomografii u dyferentsiatsii patolohii pechinky / N.I. Zabolotna // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – №2. – S. 126-131.

44. Zabolotna N.I. Pokhybky vymiriuvan referentnykh matryts Miullera v systemi miuller-matrychnoho kartografuvannia biolohichnykh shariv / N.I. Zabolotna // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2015. – №1 (29) – S. 109-117.

45. Zabolotna N.I. Metrolohichni kharakterystyky rozpodiliv pokhybok vymiriuvannia v systemi miuller-matrychnoho kartografuvannia shariv

biolohichnykh tkanyn / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov // Fotobiolohiia ta fotomedytyna. – 2015. – №1,2. – S. 89-95.

46. Pat. na korysnu model №61160 Ukraina, MPK G 01 N 33/48. Sposib vymiriuvannia miuller-matrychnykh zobrazhen optyko-anizotropnykh shariv biolohichnykh ob'ektiv / Zabolotna N.I., Ushenko A.G.; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – № u201015393; zaiavl. 20.12.2011; opubl.11.07.2011, Biul.№13.

47. Pat. na korysnu model №70125 Ukraina, MPK G01N33/00; A61B5/00. Sposib vymiriuvannia fazovykh map optyko-anizotropnykh shariv biolohichnykh ob'ektiv / Zabolotna N.I., Ushenko O.H., Oliinychenko B.P.; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – № u201113973; zaiavl. 28.11.2011; opubl.25.05.2012, Biul.№10.

48. Pat. na korysnu model №70756 Ukraina, MPK G01N33/00. Sposib vymiriuvannia fazovykh tomohram polikrystalichnykh merezh optyko-anizotropnykh shariv biolohichnykh tkanyn / Zabolotna N.I., Sholota V.V., Cherednyk O.H. ; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – №u201114314; zaiavl.05.12.2011; opubl.25.06.2012, Biul.№12.

49. Pat. na korysnu model № 86607 Ukraina, MPK G01N 33/48, A61B 5/00. Sposib vymiriuvannia miuller-matrychnoi orientatsiinoi tomohramy polikrystalichnykh merezh optyko-anizotropnykh shariv biolohichnykh tkanyn / Zabolotna N.I., Pavlov S.V., Kostiuk S.V., Kolotchenko I.V.; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – № u201306576; zaiavl. 27.05.2013; opubl. 10.01.2014, Biul. №1.

50. Pat. na korysnu model № 102237 Ukraina, MPK G01N 33/48, G01N 21/00. Sposib vymiriuvannia orientatsiinykh tomohram polikrystalichnykh merezh optyko-anizotropnykh shariv biolohichnykh tkanyn / Zabolotna N.I.; zaiavnyk i patentovlasnyk Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – № u201503161; zaiavl. 06.04.2015; opubl. 26.10.2015, Biul.№20.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	10
ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА БІОМЕДИЧНИХ ЗАСОБІВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ СТРУКТУРИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ТА РІДИН.....	24
1.1 Тенденції розвитку сучасних біомедичних технологій діагностування структури біологічних тканин і рідин на основі поляризаційного зондування	24
1.2 Класифікація основних методів та засобів лазерної поляриметрії БТ та БР	34
1.3 Формалізм матриць Мюллера у дослідженні структурної анізотропії БТ та БР	38
1.4 Поляриметричний інструментарій для стокс-мюллер поляриметричного діагностування структури БТ та БР	45
1.4.1 Методи та засоби локальної стокс-поляриметрії.....	45
1.4.1.1 Методи та системи локальної стокс-поляриметрії з механічно керованими параметрами перетворювачів поляризації	45
1.4.1.2 Методи та системи локальної стокс-поляриметрії на основі електричного керування параметрами перетворювачів поляризації	49
1.4.1.3 Метод паралельного вимірювання параметрів вектора Стокса	53
1.4.2 Методи та засоби локальної мюллер-матричної поляриметрії для відтворення поляризаційних характеристик БШ.....	53
1.4.3 Методи та засоби зображальної мюллер-матричної поляриметрії для відтворення анізотропних характеристик БШ	61
1.5 Біологічні засоби зображальної поляриметрії з об'єктивним	

	3
аналізом при оцінюванні патологічних змін БШ	72
1.6 Висновки до першого розділу, визначення проблеми і задач дослідження	73
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ І ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВІ МЕТОДИ ВІДТВОРЕННЯ ТА ОБ'ЄКТИВНОГО АНАЛІЗУ ОПТИКО-АніЗОТРОПНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ	77
2.1 Моделювання оптико-анізотропних властивостей багатошарових біологічних тканин за елементами матриць Мюллера	77
2.2 Мюллер-матричні зображення мереж біологічних кристалів з детермінованими розподілами оптичних осей та фазових зсувів	82
2.3 Методи аналізу мюллер-матричних зображень (ММЗ)	87
2.3.1 Статистичний підхід до аналізу ММЗ мереж біологічних кристалів	87
2.3.2 Автокореляційні функції ММЗ мереж біологічних кристалів	88
2.3.3 Спектри потужності ММЗ мереж біологічних кристалів і їх фрактальний аналіз	90
2.4 Статистична, кореляційна і фрактальна структура мюллер-матричних зображень двошарових двопроменезаломлюючих циліндрів ..	92
2.5 Моделювання поляризаційної структури зображень багатошарових біологічних полікристалічних мереж	100
2.6 Висновки до мюллер-матричного моделювання оптико-анізотропних властивостей двошарових біологічних мереж	102
2.7 Селекція ММЗ для аналізу параметрів оптичної анізотропії біологічних шарів та багатошарових біологічних структур	103
2.8 Експериментальне поляризаційне та мюллер-матричне картографування оптично товстих БШ та їх статистичні, кореляційні та фрактальні параметри	107
2.9 Розвиток методів відтворення та аналізу орієнтаційно-фазової структури оптично тонких біологічних шарів на основі їх мюллер-	

	4
матричного картографування	116
2.9.1 Визначення та аналіз відтворених орієнтаційних мап оптично тонких біологічних шарів на основі елементів матриці Мюллера	117
2.9.2 Визначення та аналіз відтворених фазових мап оптично тонких біологічних шарів на основі елементів матриці Мюллера.	122
2.10 Теоретичне обґрунтування та сутність методу прямого відтворення та аналізу розподілу орієнтаційних параметрів структури оптично тонкого БШ	128
2.11 Теоретичне обґрунтування та сутність методу прямої поляризаційної реконструкції та аналізу розподілу фазових параметрів структури оптично тонкого БШ	134
2.12 Теоретичні основи мюллер-матричного відтворення координатних розподілів орієнтаційних і фазових параметрів структури «екранованих» зовні шарів двошарових біологічних тканин.....	139
2.13 Висновки до розділу 2	144
РОЗДІЛ 3 АРХІТЕКТУРНА ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗОБРАЖАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВОГО ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ	147
3.1 Архітектура зображальної системи мюллер-матричного картографування біологічних шарів, відтворення та аналізу їх полікристалічної структури	148
3.2 Архітектура зображальної системи прямого відтворення та аналізу орієнтаційних параметрів структури оптично тонких біологічних шарів	156
3.3 Архітектура зображальної системи поляризаційної реконструкції фазових мап оптично тонких біологічних шарів.....	160
3.4 Архітектура зображальної системи поляризаційного відтворення та аналізу координатних розподілів ММЗ «екранованих» зовні двошарових біологічних структур	163

3.5 Архітектура багатопараметричної зображальної системи поляризаційно-фазового відтворення та аналізу параметрів анізотропії планарних біологічних тканин і рідин	168
3.6 Висновки до розділу 3	174
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОБРАЖАЛЬНИХ СИСТЕМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВОГО ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ	176
4.1 Метод матриць Мюллера описання оптичних властивостей узагальненої стокс-поляриметричної системи	176
4.2 Визначення матриці Мюллера зображальної системи мюллер-матричного картографування біологічних шарів	181
4.3 Метрологічні характеристики систем поляризаційно-фазового відтворення та аналізу структури полікристалічних біологічних шарів ...	185
4.4 Визначення діапазону лінійності вимірювань цифрової камери	190
4.5 Визначення та комплексний аналіз розподілів похибок вимірювання двовимірних параметрів вектора Стокса опромінюючого біологічний шар випромінювання.....	190
4.6 Вимірювання та комплексний аналіз координатних розподілів похибок вимірювання двовимірних параметрів вектора Стокса перетвореного випромінювання.....	192
4.7 Вимірювання матриці Мюллера оптичної схеми зображального стокс-поляриметра, визначення та комплексний аналіз координатних розподілів похибок вимірювання	194
4.8 Вимірювання референтних (еталонних) матриць Мюллера.	198
4.8.1 Визначення похибок вимірювання матриць Мюллера розчину глюкози.....	199
4.8.2 Визначення похибок вимірювання матриць Мюллера фазовозсуваючої пластинки $\lambda/2$	203
4.9 Висновки до розділу 4	206

РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АПРОБАЦІЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ПОЛКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН І РІДИН	208
5.1 Розробка експериментальної установки системи	208
5.2 Експериментальне картографування азимутів та еліптичностей поляризації зображень двошарових біологічних структур та діагностика їх змін, обумовлена станами «норма» та «патологія».....	213
5.2.1 Двошарова структура «м'язова тканина –дерма шкіри».....	213
5.2.2 Двошарова структура тканини шийки («м'язова тканина – сполучна тканина»)	219
5.3 Експериментальне мюллер–матричне картографування двошарової структури «м'язова тканина – дерма шкіри»	222
5.4 Експериментальне дослідження поляризаційного відтворення мюллер-матричних зображень парціальних шарів двокомпонентної реальної біологічної структури «м'язова тканина - дерма шкіри».....	230
5.5 Експериментальне поляризаційне відтворення ММЗ шарів здорової і онкологічно зміненої оптично тонкої тканини гладкого м'яза шийки матки	237
5.6 Експериментальне дослідження поляризаційного відтворення розподілів орієнтаційних і фазових параметрів оптично тонкої двошарової структури при «нормі» та «патології»	242
5.7 Дослідження діагностичних обмежень поляризаційного відтворення ММЗ оптично товстої двошарової тканини шийки матки	246
5.8 Експериментальне відтворення та аналіз орієнтаційних та фазових параметрів анізотропії плівок плазми крові здорової та хворої на рак шлунку людини.....	249
5.9 Висновки до розділу 5	258

РОЗДІЛ 6 ДІАГНОСТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-ФАЗОВОГО ВІДТВОРЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ПОЛІКРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРВ	260
6.1 Підходи до статистичного оцінювання достовірності діагностування патологічних станів за методами поляризаційно-фазового відтворення та аналізу полікристалічної структури двошарових БТ	260
6.2 Показники достовірності методу поляризаційного картографування та аналізу орієнтаційних ММЗ двошарової БТ при диференціації станів «норма» -«гепатит» печінки пацюків	263
6.3 Показники достовірності методу поляризаційного картографування та аналізу фазових ММЗ двошарової БТ при диференціації станів «норма» -«гепатит» печінки пацюків	268
6.4 Порівняння методів відтворення та аналізу фазових мап БШ за показниками достовірності при диференціації станів «норма» – «гепатит» гістологічних зрізів печінки пацюків	273
6.5 Показники достовірності методу прямого відтворення та аналізу розподілу орієнтаційних параметрів БШ при диференціації станів «норма» – «гепатит» гістологічних зрізів печінки пацюків	279
6.6 Показники достовірності методу мюллер-матричного відтворення фазової структури «екранованого» зовні шару двошарової БТ при диференціації станів «норма» – «гепатит» гістологічних зрізів печінки пацюків	284
6.7 Порівняльна оцінка достовірності методів поляризаційно-фазового відтворення та аналізу полікристалічної структури двошарових БТ	288
6.8 Достовірність методу прямої поляризаційної реконструкції розподілу фазових параметрів (фазометрії) полікристалічних плівок плазми крові при оцінюванні патологічних станів молочної залози	291
6.8.1 Координатна, статистична, кореляційна і фрактальна структура розподілів фаз лазерних зображень зразків плівок плазми крові пацієнтів різного фізіологічного стану	291

6.8.2	Визначення інформативних діагностичних ознак фазової диференціації патологічних станів молочної залози.....	298
6.8.3	Показники достовірності методу прямої лазерної фазометрії плівок плазми крові при діагностуванні доброякісних змін молочних залоз	300
6.8.4	Показники достовірності методу прямої лазерної фазометрії плівок плазми крові при діагностуванні злякисних змін молочних залоз .	301
6.8.5	Показники достовірності методу прямої лазерної фазометрії плівок плазми крові при диференціації доброякісних і злякисних змін молочних залоз	303
6.9	Висновки до розділу 6	306
	ВИСНОВКИ	308
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	313
	ДОДАТОК А Основні підходи до розрахунку розподілів значень елементів ММЗ окремого БШ	349
	ДОДАТОК Б Алгоритмічне забезпечення визначення розподілів ММЗ мереж біологічних кристалів двошарової БТ	353
	ДОДАТОК В Програмне забезпечення визначення розподілів ММЗ мереж біологічних кристалів двошарової БТ	361
	ДОДАТОК Г Програма комплексного статистичного, кореляційного та фрактального аналізу двовимірних розподілів функцій	368
	ДОДАТОК Д Автокореляційні та фрактальні розподіли поляризаційних мап багат шарової мережі прямолінійних циліндрів	373
	ДОДАТОК Е Методика та результати вимірювання розподілів параметрів вектора Стокса і поляризаційного картографування біологічних шарів	374
	ДОДАТОК Ж Дослідження параметрів вектора Стокса опромінюючого біологічний шар випромінювання та їх похибок	381
	ДОДАТОК И Дослідження параметрів вектора Стокса перетвореного об'єктом випромінювання та їх похибок	389

ДОДАТОК К Координатні розподіли елементів матриці Мюллера зображального стокс-поляриметра та гістограми розподілів їх похибок вимірювань	397
ДОДАТОК Л Координатні розподіли елементів референтних матриць Мюллера та гістограми розподілів їх похибок вимірювань	399
ДОДАТОК М Результати експериментального картографування азимутів поляризації зображень двошарових БТ різного походження та різної оптичної товщини в стані «норма» та «патологія»	403
ДОДАТОК Н Координатні, кореляційні та фрактальні розподіли орієнтаційного та фазового параметрів структури плівок плазми крові здорової та хворої на рак шлунку людини.....	407
ДОДАТОК П Акти впровадження результатів розробки	411
ДОДАТОК Р Список опублікованих праць за темою дисертації.....	420