

## АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗОБРАЖУВАЛЬНОЇ МЮЛЛЕР-ПОЛЯРИМЕТРІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

У статті наведено порівняльні технічні характеристики систем зображувальної мюллер-поляриметрії біологічних шарів для діагностики біологічних тканин. Показано перспективність систем із азимутальною незалежністю мюллер-матричних зображень від кута обертання зразка навколо осі зондування, а також систем із багатопараметричним аналізом матриць Мюллера та автоматичною підтримкою прийняття рішень.

**Ключові слова:** система, матриця Мюллера, біологічна тканина, біологічний шар, зображувальна мюллер-поляриметрія.

### *Abstract*

The article presents comparative technical characteristics of imaging Mueller-polarimetry systems of biological layers for the diagnosis of biological tissues. The prospects of systems with azimuthal independence of Mueller matrix images from the angle of rotation of the sample around the probing axis, as well as systems with multiparameter analysis of Mueller matrices and automatic decision support are shown.

**Keywords:** system, Mueller matrix, biological tissue, biological layer, imaging Mueller polarimetry.

### **Вступ**

Сьогодні вкрай актуальним є розвиток методів та систем лазерної поляризаційної діагностики біологічних тканин (БТ), які мають значні перспективи виявлення онкологічних захворювань на ранніх етапах їх розвитку. Це відбувається за рахунок переваг поляризаційного випромінювання, яке застосовують в таких системах в довільному діапазоні довжин хвиль, а також без збільшення інтенсивності випромінювання, яке може спричинити пошкодження об'єкта дослідження.

Проте головною перевагою є можливість підвищувати інформативність методів діагностики БТ за рахунок фіксування на рівні мікрометрів змін оптичної анізотропії біологічних шарів (БШ), викликаних змінами впорядкованості структури їх протеїнових молекул на ранніх стадіях пухлинних процесів, що не властиво іншим методам діагностики.

В поляризаційних діагностичних методах для опису взаємодії лазерного випромінювання з БШ використовують матриці Мюллера [1]. На основі вивчення взаємозв'язків між розподілами елементів матриць Мюллера (мюллер-матричними зображеннями (ММЗ)) і відповідними фізіологічними станами досліджуваних БШ визначають критерії їх подальшої діагностики.

Метою роботи є порівняльний аналіз існуючих систем зображувальної мюллер-матричної поляриметрії для діагностики БШ із визначенням напрямку їх подальшого розвитку.

### **Результати дослідження**

Виміряна матриця Мюллера біологічного шару дає узагальнену інформацію про поглинання, двопронезаломлення та оптичну анізотропію досліджуваного зразка під час його взаємодії з поляризованим лазерним випромінюванням. Вилучивши окремо кожен із зазначених ефектів, матимемо окремий діагностичний параметр. Використання камер для реєстрації вимірних розподілів таких параметрів привів до появи систем зображувальною мюллер-поляриметрії БШ.

Порівняльний аналіз основних характеристик відомих систем зображувальної мюллер-поляриметрії БШ наведено в таблиці.

Відзначимо, що серед відомих систем виділяють такі, що вимірюють повні набори із 4x4 ММЗ БШ, а також системи на основі певного розкладання головного мінору для визначення 3x3 ММЗ, системи для вимірювання окремо орієнтаційних та фазових груп ММЗ або системи для визначення окремих так званих мюллер-матричних інваріантів (ММІ). ММІ являють собою окремі ММЗ або їх пев-

ні комбінації, що не залежать від обертання зразку навколо осі зондування в системі. Очевидно, що такі системи будуть забезпечувати вищу точність вимірювань діагностичних параметрів та підвищать достовірність діагностики БШ.

Розробкою таких систем займаються провідні наукові лабораторії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Вінницького національного технічного університету, Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. В закордонних аналогах увага концентрується більше на методах вимірювання, без застосування перспективних інформаційних технологій аналізу та підтримки прийняття рішень. Це формує їх основний недолік.

Таблиця. Основні характеристики систем зображувальної мюллер-поляриметрії БШ

Назва системи	Метод вимірювання ММЗ	Методи автоматизованого аналізу ММЗ	Методи автоматизованої класифікації ММЗ	Достовірність діагностики пухлин за ММЗ БШ
Лазерна відеополяриметрична система (Київ) [2]	Розкладання Шірман для визначення 3x3 ММЗ	Статистичний аналіз розподілу елементів ММЗ	Відсутні	75% (виявлення меланоми шкіри)
Лазерний мікрополяриметр (ЧНУ ім. Федьковича)[ 3]	Феноменологічний метод визначення мюллер-матричних інваріантів (ММІ)	Статистичні моменти 1-го-4-го порядків ММІ	Відсутні	80% (аденома та карцинома стінки прямої кишки)
Багатопараметрична система мюллер-матричного картографування БШ та їх аналізу (ВНТУ) [4]	Феноменологічний метод визначення повного набору 4x4 ММЗ	Статистичні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ, кореляційні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ, спектральні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ	Відсутні	87,2 % (виявлення раку печінки пацюків)
Однохвильова система Мюллер-Джонс-матричної поляриметрії для діагностики БТ [5]	Феноменологічний метод визначення повного набору 4x4 ММЗ та матриць Джонса	Статистичні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ та матриць Джонса	Дискримінантний аналіз	82,7% (виявлення раку молочних залоз при аналізі плівок плазми крові)
Багатопараметрична система поляризаційно-фазового відтворення та аналізу анізотропії БТ із підтримкою прийняття рішення [6]	Феноменологічний метод визначення орієнтаційних та фазових ММЗ	Статистичні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ, кореляційні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ, спектральні моменти 1-го-4-го порядків ММЗ	Нечітка логіка	92,8% - для виявлення раку шийки матки за орієнтаційними ММЗ; 95,2 % - для виявлення раку шийки матки за фазовими ММЗ

Аналіз даних таблиці показав, що високі перспективи по покращенню достовірності діагностування біологічних шарів методами мюллер-поляриметрії забезпечуються завдяки таким чинникам:

- застосування феноменологічному методу визначення мюллер-матричних інваріантів, що забезпечує незалежність від кута обертання дослідного зразку відносно осі зондування;
- багатопараметричний аналіз виміряних ММЗ на основі комбінації статистичного, кореляційного та спектрального аналізу;
- застосуванню в системах автоматичної підтримки прийняття рішень.

## Висновки

Наведений аналіз методів і систем зображувальної мюллер-поляриметрії БШ показав, що чинниками для подальшого покращення діагностики БТ на їх основі можуть бути методи вимірювання азімутально-незалежних мюллер-матричних зображень БШ у поєднанні з їх багатопараметричним аналізом та автоматичною підтримкою прийняття рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Alalia S. Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment / Sanaz Alalia, Alex Vitkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(6). – 061104.
2. Тужанський С.Є. Системи лазерної відеополяриметрії для автоматизованого контролю параметрів неоднорідних біотканин : монографія / С.Є. Тужанський, Г.Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 156 с.
3. Основи лазерної поляриметрії. Біологічні рідини / [Ушенко О.Г., Бойчук Т.М., Заболотна Н.І. та ін.]; під ред. О.Г. Ушенка, Т.М. Бойчука – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. – 656 с.
4. Zabolotna N.I. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies / N.I. Zabolotna, V. V. Sholota, H. H. Okarskyi // Proc. SPIE. – 2020. – Vol. 11369 - 113691S;P. 501-513.
5. Radchenko K. O. Intellectualized Mueller-Jones matrix system of laser polarimetry for breast fibroadenoma diagnosis / Kostiantyn O. Radchenko // Proc. SPIE. – 2018. - Vol. 10750. - 107500M.
6. Заболотна Н.І. Підтримка прийняття рішень в системі поляризаційної зображальної діагностики гістологічних зрізів за аналізом їх параметрів анізотропії [Текст] / Н. І. Заболотна, О. В. Бісикало, В. В. Шолота // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. –2020. –№2. –С.29-40.

**Заболотна Наталія Іванівна** – професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: [natalia.zabolotna@gmail.com](mailto:natalia.zabolotna@gmail.com)

**Загоруйко Вадим Ігорович**— студент групи КОІС-186 факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**Zabolotna Natalia I.** - Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: [natalia.zabolotna@gmail.com](mailto:natalia.zabolotna@gmail.com)

**Zagoruyko Vadim I.** – student of Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia