

АНАЛІЗ ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИЗНАЧЕННЯ ДАВНОСТІ НАСТАННЯ СМЕРТІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі наведено порівняльний аналіз оптичних методів та інформаційно-вимірювальних систем для визначення давності настання смерті. Показано перспективність використання методів лазерної поляриметрії зі статистичним аналізом координатних розподілів азимутів та еліптичностей, що забезпечує високу точність моніторингу постлетальних деструктивних змін біологічних мереж.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, лазерна поляриметрія, давність настання смерті, статистичні моменти, анізотропія.

Abstract

The paper presents a comparative analysis of optical methods and information-measuring systems for determining the age of death. The prospects of using laser polarimetry methods with statistical analysis of coordinate distributions of azimuths and ellipticities are shown, which ensures high accuracy of monitoring post-lethal destructive changes in biological networks.

Keywords: information-measuring system, laser polarimetry, time since death, statistical moments, anisotropy.

Вступ

Сучасний розвиток судової медицини потребує впровадження об'єктивних високоточних методів визначення часових параметрів постлетального періоду, що є критичним для ефективної роботи правоохоронних органів. Автоматизація процесу встановлення давності настання смерті (ДНС) на основі фізичних параметрів біологічних середовищ дозволяє мінімізувати суб'єктивізм експертних висновків та підвищити достовірність доказової бази.

Серед відомих методів визначення давності настання смерті вирізняють термометричний, біохімічний, оптичну денситометрію та лазерну поляриметрію [1, 2].

Лазерна поляриметрія характеризується мінімальною похибкою вимірювання та низьким порогом чутливості до зовнішніх факторів серед названих методів. Саме ці характеристики методів визначення давності настання смерті є критично важливими при проєктуванні інформаційно-вимірювальних систем медико-криміналістичного призначення.

Переваги лазерного когерентного випромінювання зумовлені його властивостями монохроматичності, часової та просторової стабільності керування станом поляризації, що покладено в основу сучасних когерентно-оптичних методів.

Метою роботи є порівняльний аналіз когерентно-оптичних методів визначення давності настання смерті з урахуванням можливості використання в них не лише високоточних оптичних вимірювань, але й інтелектуалізованого процесу обробки та аналізу азимутів поляризації.

Тенденції сучасних оптичних поляризаційних технологій давності настання смерті

Для задач судово-медичної експертизи використовують такі методи та інформаційно-вимірювальні системи для їх реалізації:

- інтерферометричні;
- голографічні;
- лазерні поляриметричні та інші.

Основою методу інтерферометрії є реєстрація результату накладання двох або більше когерентних хвиль, а саме об'єктної хвилі, що пройшла крізь досліджуваний зразок ліквору, та опорної. Основним

діагностичним параметром тут виступає фазовий зсув, зумовлений варіаціями показника заломлення та товщини зразка.

В основі голографічних методів є запис інтерференційної картини між об'єктною хвилею, яка несе інформацію про фазові неоднорідності ліквору, та еталонною опорною хвилею.

З перелічених методів лазерна поляриметрія є найбільш інформативним методом для дослідження оптико-анізотропних властивостей біологічних об'єктів.

Для об'єктивного вибору фізичного принципу побудови інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) необхідно провести порівняльний аналіз існуючих підходів до оцінювання часових параметрів постлетального періоду. Основні характеристики та метрологічні можливості відомих методів визначення давності настання смерті наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів визначення давності настання смерті

Метод дослідження	Фізичний параметр	Похибка (год)	Поріг чутливості	Придатність для автоматизації та інтелектуалізації в ІВС	Використані джерела
Термометричний	Гradient температури ядра тіла	2.5 – 4.0	Високий	Середня	[2]
Біохімічний	Концентрація продуктів розпаду	3.0 – 5.0	Середній	Низька	[2]
Оптична денситометрія	Коефіцієнт поглинання/пропускання	2.0 – 2.5	Низький	Висока	[2]
Лазерна поляриметрія	Азимути, еліптичності, фазовий зсув об'єктного поля	0.5 – 1.0	Мінімальний	Максимальна (цифрова обробка)	[3]-[6]

Аналіз даних таблиці 1 показує, що незважаючи на широке застосування термометричних та біохімічних підходів, вони мають значну похибку та низьку придатність до автоматизації та інтелектуалізації у складі мобільних ІВС. Найбільш перспективним є метод лазерної поляриметрії, який забезпечує мінімальну похибку (0,5–1,0 год) та дозволяє реалізувати інтелектуалізований аналіз даних на основі статистичних моментів високих порядків.

В доповіді основна увага приділяється методам лазерної поляриметрії біологічних тканин та рідин. Їх основна особливість полягає у врахуванні зміну стану поляризації лазерного випромінювання під час взаємодії із досліджуванним об'єктом, властивості якого визначає їх оптико-анізотропна структура.

Серед лазерних поляриметричних методів вирізняють дві великі групи методів. Перша група передбачає вимірювання азимутів, еліптичності та фазових зсувів лазерного випромінювання після його взаємодії з біологічним шаром. Друга група базується на використанні матриці Мюллера, яка безпосередньо характеризує біологічний об'єкт.

В роботі досліджуються методи картографування азимутів еліптичності розсіяного лазерного випромінювання після взаємодії з гістологічним зрізом досліджуваного зразка. Гістологічні зрізи готуються лікарем патологоанатомом за технологією нативних зразків при їх геометричній товщині 10-40 мкм.

Для реалізації методів використовується вимірювальний канал на основі традиційного автоматизованого лазерного поляриметра.[3].

До його складу входить лазерне джерело випромінювання, генератор поляризаційних станів та

аналізатор поляризаційних станів, оптика для отримання зображення та реєстраційна камера, яка підключена до комп'ютера. Отримані параметри азимутів та еліптичностей формуються у вигляді відповідних зображень. Відома методика визначення давності настання смерті пов'язана з оцінюванням статистичних моментів мап азимутів та еліптичностей полів зразків, отриманих на довжині хвилі лазерного випромінювання 0,632 мкм.

Висновки

В роботі наведено порівняльну характеристику методів визначення давності настання смерті. Серед перспективних методів відзначено лазерну поляриметрію біологічних шарів, на основі якої вимірюють азимут, еліптичність та фазовий зсув поляризованого перетвореного зразком світла.

Визначено вимоги до досліджуваних біологічних зразків та рекомендації до побудови систем на основі лазерної поляриметрії із інтелектуалізованим аналізом даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Павлов С. В., Заболотна Н. І. та ін. Інтелектуалізовані оптико-електронні технології медичної діагностики: пульсодіагностика та тканинна оптична анізотропія : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2025. 204 с.
2. Бачинський В. Т. Поляризаційно-кореляційний аналіз динаміки зміни мікроструктури м'язової тканини / В. Т. Бачинський, О. Г. Ушенко, О. Я. Ванчуляк // Клінічна та експериментальна патологія. – 2002. – Т. 1, № 1. – С. 69-74.
3. Заболотна Н. І. Застосування лазерів у діагностиці біологічних об'єктів // Лазер і здоров'я : монографія / за заг. ред. А. В. Кіпенського. Харків : Міська друкарня, 2024. С. 172–216.
4. Заболотна Н. І., Павлов С. В., Шолота В. В. Моделі, методи та системи лазерної поляриметрії плазми крові для діагностики молочних залоз : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2024. 145 с.
5. Born M., Wolf E. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. 7th ed. Cambridge University Press, 1999. 952 p.
6. Пат. 32310 Україна, МПК G01N 33/00. Спосіб визначення часу формування гематом за допомогою статистичного аналізу поляризаційних зображень біологічних тканин трупа людини / Бачинський В. Т. ; заявник і патентовласник Буковинський державний медичний університет. – № u 2008 00201 ; заявл. 04.01.2008 ; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

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

Вишневецький Іван Вікторович – студент групи КОІС-226 факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: ivanvishnevskiy14@gmail.com

Zabolotna Nataliia I. - Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com

Vyshnevskiy Ivan V. – student of Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: ivanvishnevskiy14@gmail.com