

УДК 612.111

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ СПЕКЛ-ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА МІКРОСКОПІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ КРОВІ

*Байкова Анастасія Геннадіївна*  
[baykova.anastasiia@gmail.com](mailto:baykova.anastasiia@gmail.com)

*Богомолів Микола Федорович*  
[mfbogomolov@gmail.com](mailto:mfbogomolov@gmail.com)

*Вовянюк Світлана Ігорівна*  
[sivovianko@gmail.com](mailto:sivovianko@gmail.com)

*Боровський Віктор Васильович*  
[borovskyiviktor@gmail.com](mailto:borovskyiviktor@gmail.com)

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Анотація** – В сучасній біомедичній інженерії та медичній діагностиці спостерігається стрімкий розвиток методів аналізу біологічних структур, зокрема, для вивчення властивостей крові. Одним із ефективних підходів є використання спекл-інтерферометрії, яка дозволяє отримувати інтерференційні зображення різноманітних мікроструктур, таких як клітини крові. Метод спекл-аналізу базується на просвічуванні зразків крові когерентним лазерним випромінюванням, що дозволяє отримати спекл-зображення, які аналізуються за допомогою розробленої комп'ютерної моделі. Мікроскопічний аналіз, у свою чергу, передбачає отримання фотографії зразків за допомогою мікроскопа з подальшим візуальним або програмним аналізом. Відомо, що під час циркуляції крові по судинах, еритроцити взаємодіють з іншими клітинами крові (лімфоцити, лейкоцити тощо), що неможливо дослідити при вимірюванні перфузії крові в умовах *in vivo*. Саме тому особливий інтерес викликає використання нових методів для дослідження агрегації еритроцитів та інших клітин крові в умовах *in vitro*, оскільки такі умови досліджень носять більш точний характер та запобігають виникненню різноманітних відхилень через стабільність середовища досліджень. У дослідженні оцінено точність обох методів у контексті виявлення мікроструктурних змін крові, таких як агрегація та кількість еритроцитів через їх переважність у досліджуваних зразках крові. Спекл-аналіз продемонстрував можливий потенціал у швидкому виявленні змін у зразках, дозволяючи автоматизувати процес обробки даних. Водночас мікроскопічний метод забезпечує високодеталізовані зображення, що є важливим для якісного аналізу, але вимагає більше часу та ручної обробки. Результати дослідження показують, що поєднання обох підходів може значно підвищити точність діагностичних процедур. Запропонована комп'ютерна модель відповідає сучасним тенденціям впровадження інформаційних цифрових технологій доказової медицини і може допомогти в удосконаленні діагностики захворювань, пов'язаних із змінами у морфології еритроцитів крові.

**Ключові слова** – комп'ютерна модель, кров, спекл, інтерферометрія, еритроцити, мікроскопічний аналіз, параметри крові.

## I. ВСТУП

У сучасній біомедичній інженерії та медичній діагностиці стрімко розвиваються методи аналізу біологічних структур, зокрема для дослідження властивостей крові. Одним із перспективних підходів є використання спекл-інтерферометрії, яка забезпечує отримання інтерференційних зображень мікроструктур, таких як клітини крові [1]. Цей метод наразі застосовується переважно для кількісного визначення швидкості кровотоку або оцінки мікросудинної перифузії, що дозволяє отримувати інформацію *in vivo*, переважно про динамічні показники крові [2, 3].

Проте, під час циркуляції крові еритроцити взаємодіють із лейкоцитами, тромбоцитами та іншими клітинами крові, що обмежує можливості аналізу *in vivo*. Для точнішого вивчення таких процесів дедалі

більшого значення набувають дослідження в умовах *in vitro*, які дозволяють знизити вплив зовнішніх факторів і створити стабільне середовище для аналізу.

Мікроскопічний аналіз є золотим стандартом для вивчення морфології клітин крові. Він забезпечує високо деталізовані зображення, які дозволяють візуалізувати агрегацію еритроцитів, зміни їхньої форми та взаємодію з іншими клітинами. Водночас цей метод потребує значних витрат часу та ручної обробки, що знижує його ефективність у масовій діагностиці.

Розробка комп'ютерної моделі для автоматизованого аналізу спекл-зображень еритроцитів в умовах *in vitro* відкриває нові можливості для поєднання переваг обох методів. Це сприятиме вдосконаленню діагностики захворювань, пов'язаних зі

змінами морфології кров'яних клітин, у рамках цифрової доказової медицини [4–6].

## II. МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є підвищення якості оцінки функціонального стану еритроцитів крові людини шляхом розробки оригінальної комп'ютерної моделі для обробки спекл-інтерферограм еритроцитів.

## III. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

При розробці комп'ютерної моделі для аналізу зразків крові було оглянуто низку літературних джерел про фізику утворення спеклів, напрямки застосування спекл-аналізу у медичних дослідженнях, а також основні технічні аспекти проведення спекл-аналізу при дослідженні параметрів крові.

При отриманні спекл-зображень зразків крові було застосовано лабораторну лазерну установку, що включала в себе газовий *He-Ne*-лазер, лінзи, зразок крові людини, реєструючий екран та реєструючий пристрій (камера). Зразки крові, в свою чергу, представляли мазки крові, пофарбовані за методом Романовського-Гімзи.

Розробка комп'ютерної моделі для проведення аналізу отриманих спекл-знімків проводилась із застосуванням програмного забезпечення MatLab 2024.

При проведенні мікроскопічного аналізу зразків крові було використано електронний мікроскоп «Zeiss Primo Star», а також спеціалізоване програмне забезпечення для отримання знімків з даного мікроскопа в реальному часі «Carl Zeiss Vision AxioVision Viewer 4.8».

## IV. ОСНОВНІ ЗАСАДИ УТВОРЕННЯ СПЕКЛІВ ТА ЇХ ВИДИ

Явище спекл утворюється внаслідок випадкової інтерференції великої кількості амплітуд електромагнітного поля, що поширюється через однакові оптичні шляхи. Ця інтерференція створює гранулярну структуру інтенсивності поля  $I(r, t)$ . Спекл-структури виникають у різних випадках, зокрема при розсіюванні світла на шорстких поверхнях, проходженні через розсіювальні

середовища або безпосередньо всередині таких середовищ, наприклад, у біологічних тканинах. Для формування спеклів необхідна достатня просторова і часова когерентність джерела світла.

Математично інтенсивність у певній точці описується як сума внесків комплексних амплітуд:

$$I(r, t) = \left| \sum_k A_k e^{i\phi_k} \right|^2, \quad (1)$$

де  $A_k$ ,  $\phi_k$  – амплітуда та фаза електричного поля для шляху  $k$ , відповідно.

Коли когерентне лазерне випромінювання падає на шорстку поверхню, розсіяне світло формує інтерференційну картину з ділянками світла і тіні, які називають спеклами. У разі нерухомих об'єкта й джерела формується статичний спекл, а за руху об'єкта чи частинок — динамічний. Динамічний спекл зумовлений ефектом Доплера через взаємодію світла з рухомими частинками.

Спекл є результатом суперпозиції багатьох незалежно фазованих комплексних компонентів, які мають амплітуду і фазу. Їхня взаємодія призводить до так званого "випадкового блукання", у якому результуючий вектор визначає інтенсивність хвилі. Характер утворених векторів залежить від відносних фаз компонентів та типу інтерференції: конструктивної чи деструктивної. Квадрат довжини результуючого вектора відповідає спостережуваній інтенсивності [7-11].

На рисунку 1 подано «випадкові блукання», що утворюють великий та малий результуючий вектори.

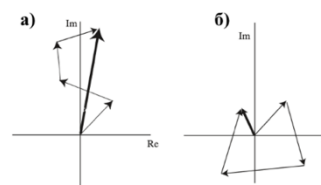


Рисунок 1 – «Випадкове блукання», що відображає: а) конструктивне додавання; б) деструктивне додавання [1]

На рис. 1 показано випадковий характер як довжин, так і напрямків окремих векторів, причому жоден із них не домінує у загальній

сумі. Виділений вектор ілюструє результуючий вектор комплексної суми. Комплексна природа цих компонентів зумовлена тим, що вони є фазорами – синусоїдальними сигналами, які характеризуються певною амплітудою та фазою.

У деяких випадках, під час обробки сигналу, дійсні компоненти можуть бути визначені за допомогою вагових коефіцієнтів, які є комплексними числами. Це дозволяє отримувати суму комплексних внесків, де кожен з них враховує як амплітуду, так і фазу. Такий підхід забезпечує можливість більш точного аналізу сигналу та його складових.

Спекли класифікують на об'єктивні та суб'єктивні залежно від методу їх фіксації. Суб'єктивні спекли утворюються, коли результуюче спекл-зображення формується на екрані та фіксується за допомогою реєструючого пристрою, наприклад, камери. Натомість об'єктивні спекли формуються та записуються безпосередньо реєструючим пристроєм, без проміжного екрану. Ця різниця визначає характер подальшого аналізу та застосування кожного типу спеклів [12-18].

## V. ОТРИМАННЯ СПЕКЛ-ЗНІМКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ

Перед отриманням спекл-зображень зразків крові було здійснено вибір компонентів для лабораторної установки, яка забезпечувала фіксацію спеклів. Як джерело лазерного випромінювання використано He-Ne-лазер ЛГ-75 із робочою довжиною хвилі 632,8 нм. Це випромінювання в умовах *in vitro* не впливає на ключові властивості крові, зокрема на форму клітин, їхню кількість та загальну в'язкість, що є критично важливим для достовірності аналізу.

Для фокусування лазерного пучка на зразок крові застосовано анастигматичну лінзу, яка мінімізує астигматичні аберації та покращує якість отриманого зображення. Реєстрація спекл-зображення виконувалась

на екрані з чорним фоном, що забезпечувало високу контрастність. Фіксацію спеклів здійснено за допомогою основної камери смартфона.

Таким чином, лабораторна установка складалася з He-Ne-лазера, анастигматичної лінзи, зразка крові, чорного екрана та реєструючого пристрою. Ця комбінація дозволила ефективно отримувати спекл-зображення для подальшого аналізу.

На рисунку 2 подано структурну схему лабораторної установки.

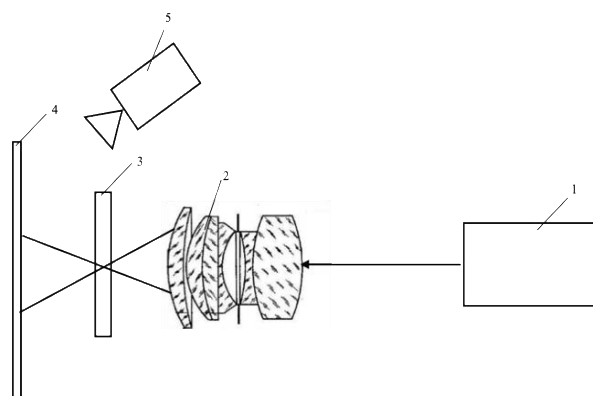


Рисунок 2 – Структурна схема лабораторної установки для реєстрації спекл-зображень: 1 – He-Ne-лазер; 2 – лінза; 3 – зразок крові; реєструючий екран; 5 – камера

Для фіксації спекл-зображень було обрано 3 зразки крові (рис. 2), нанесених на скельця та забарвлених за методом Романовського-Гімзи. У цих зразках переважали еритроцити, тому основна увага була зосереджена на цих клітинах. Однак, застосований метод потенційно придатний для підрахунку всіх типів клітин крові.

Важливо зазначити, що при обробці зображень, з метою дотримання конфіденційності медичної інформації, були видалені унікальні штрих-коди з кожного зразка. Це відповідає вимогам статті 286 Цивільного кодексу України «Право на таємницю про стан здоров'я».

Після отримання спекл-знімків (рис. 3 – 5), передбачається їх аналіз за допомогою комп'ютерної моделі.

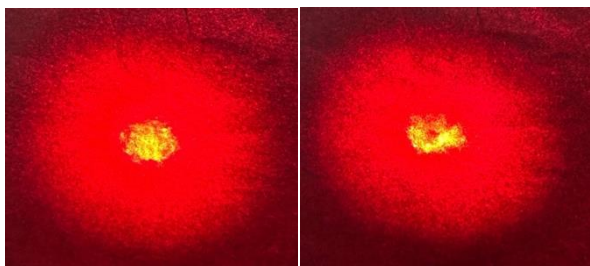


Рисунок 3 –  
Контрольний спекл-  
знімок

Рисунок 4 –Другий  
спекл-знімок



Рисунок 5 –Третій спекл-знімок

Розроблену комп'ютерну модель можна умовно розділити на чотири основні етапи:

1. Виведення запиту про кількість зображень. На цьому етапі модель запитує користувача про кількість спекл-зображень для аналізу. Такий підхід забезпечує гнучкість і відсутність обмежень щодо кількості аналізованих зображень.
2. Зчитування та обробка зображень. Цей етап включає завантаження зображень та їхню підготовку до подальшого аналізу. Обробка передбачає зниження шуму, переведення зображень у відтінки сірого, а також бінаризацію для покращення якості сегментації.
3. Сегментація та визначення кількості спеклів. Після бінаризації зображення сегментуються, що дозволяє визначити кількість спеклів у кожному зразку.
4. Статистичний та кореляційний аналіз. Цей етап включає обчислення середньої інтенсивності яскравості пікселів та середнього квадратичного відхилення інтенсивностей. Ці показники дозволяють попередньо оцінити розбіжності між аналізованими зображеннями та забезпечують основу для подальшого аналізу.

Такий підхід дозволяє ефективно обробляти та аналізувати спекл-зображення, забезпечуючи комплексну оцінку досліджуваних зразків [19, 21–23].

Отже, перше аналізоване спекл-зображення вважається еталонним, і тому всі подальші зображення порівнюються з ним для кількісного визначення ступеня подібності між аналізованими спекл-зображеннями. Це дозволяє оцінити зміни та варіації, що виникають у результаті обробки різних зразків крові.

У таблиці 1 наведено результати роботи розробленої комп'ютерної моделі для аналізу спекл-зображень крові. Дані представлені у вигляді статистичних і кореляційних показників трьох проаналізованих зображень, що дозволяє оцінити рівень подібності або ж відмінності між ними.

З табл. 1 видно, що кількість спеклів в еталонному зображенні склала 2990, середня інтенсивність яскравості пікселів 59.47, а середнє квадратичне відхилення даного значення – 23.89.

Статистичні та кореляційні дані інших чотирьох зображень порівнювались із еталонним, отже:

- коефіцієнт кореляції між першим та другим зображенням склав 0.853, що є найвищим показником серед усіх аналізованих зображень і вказує на сильну подібність даних спекл-зображень. Середня інтенсивність другого зображення склала 54.73, а середнє квадратичне відхилення даного значення – 25.32, що є більше, ніж в еталонному зображенні, але дане значення вказує на наявність мінімальних шумів;
- коефіцієнт кореляції між першим та третім зображеннями склав 0.82, що також вказує на високу подібність даних спекл-зображень. Показник кореляції є меншим в даному випадку через меншу середню інтенсивність яскравостей пікселів (47.96) та збільшене середнє квадратичне відхилення (28.98).

**Таблиця 1** – Результати аналізу спекл-зображень за допомогою розробленої комп'ютерної моделі

	Кількість спеклів у зображенні	Середня інтенсивність яскравості пікселів зображення	Середнє квадратичне відхилення інтенсивності яскравості пікселів зображення	Коефіцієнт кореляції між зображеннями
Еталонне зображення	2990	59.47	23.89	–
Друге зображення	3447	54.73	25.32	0.853
Третє зображення	2453	47.96	28.98	0.824

Отже, в результаті статистичного та кореляційного аналізу трьох спекл-зображень та підрахунку спеклів на кожному з них можна сказати, що друге зображення має найбільшу подібність до еталонного через найбільший показник коефіцієнта кореляції (0.853). В свою чергу, третє зображення має найменший показник коефіцієнта кореляції (0.824), але дане значення все одно є високим. Саме тому можна зробити висновок про високий ступінь схожості кожного з двох зображень на еталонне, що вказує на відсутність відхилень від норми в досліджених зразках крові.

## VI. МІКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ЗРАЗКІВ ТА ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для порівняння отриманих даних з розробленої комп'ютерної моделі було вирішено провести мікроскопічний аналіз тих же зразків крові.

Дані для подальшого порівняння з результатами роботи моделі отримувались за допомогою електронного мікроскопа «Zeiss Primo Star» (рис. 6).

На рисунку 6 подано зовнішній вигляд електронного мікроскопа «Zeiss Primo Star».



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд електронного мікроскопа «Zeiss Primo Star»: 1 – головка мікроскопа; 2 – ручка для позиціонування предметного столика; 3 – налаштування освітленості; 4 – грубе збільшення; 5 – м'яке збільшення; 6 – освітлювач; 7 – конденсор; 8 – предметний столик; 9 – тримач зразків; 10 – лінзи; 11 – револьверна оправа; 12 – окуляр

Цей мікроскоп оснащений вбудованою камерою, що дозволяє переглядати зображення зразків у режимі реального часу та вибирати необхідну область для фіксації. Зображення в реальному часі було зафіксовано за допомогою програмного забезпечення (ПЗ) «Carl Zeiss Vision AxioVision Viewer 4.8». Це ПЗ надає різноманітні функції для отримання зображень, управління мікроскопом, обробки та аотації зображень, аналізу даних, документації та конфігурації системи. Крім того, функціонал програми можна

розширювати шляхом інтеграції додаткових модулів для виконання специфічних завдань.

Що стосується управління мікроскопом, то AxioVision забезпечує повний автоматичний і інтерактивний контроль за моторизованими мікроскопами Carl Zeiss, що дозволяє значно спростити процес дослідження і підвищити точність отриманих результатів [20].

Методологія отримання мікроскопічних знімків зразків крові була реалізована за наступними кроками:

- Зразки крові, що використовувались для отримання спекл-зображень, по черзі розміщували на предметному столику мікроскопа.
- Під час аналізу в реальному часі було виявлено, що в досліджуваних зразках переважають еритроцити, тому для подальшого дослідження було вирішено зосередитись на області ближче до краю предметного скельця, де еритроцити не злипані.
- Знімки з мікроскопа були отримані за допомогою програмного забезпечення «Carl Zeiss Vision AxioVision Viewer 4.8», при цьому зображення зберігались у графічному форматі .jpg для подальшого аналізу.

В результаті проведеного мікроскопічного аналізу було отримано три знімки, що представлені на рисунках 7 – 9.

Для порівняння спекл-зображень та мікроскопічних знімків було вирішено використати фрагмент розробленої комп'ютерної моделі, що включає кореляційний аналіз. Цей метод передбачає попарну перевірку зображень для кожного аналізованого зразка крові. Завдяки кореляційному аналізу можна точно оцінити ступінь схожості між різними типами зображень, що дозволяє порівнювати результати спекл-методу з мікроскопічним аналізом та виявляти потенційні відмінності або відповідності між ними.

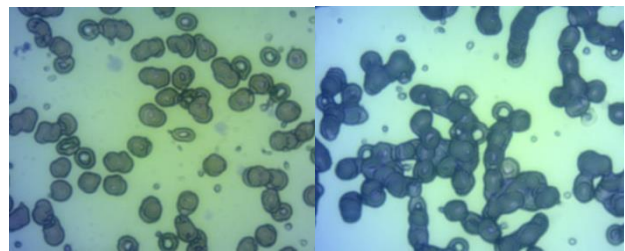


Рисунок 7 – Мікроскопічний знімок контрольного зразка

Рисунок 8 – Мікроскопічний знімок другого зразка

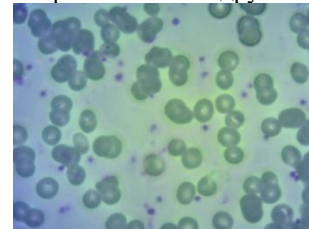


Рисунок 9 – Мікроскопічний знімок третього зразка

Для кореляційного аналізу порівнювані зображення за допомогою комп'ютерної моделі було перетворено в одноканальні та проведено нормування їх яскравості та розмірів.

Для першого контрольного зразка було отримано коефіцієнт кореляції між зображеннями 0.384. Такий коефіцієнт свідчить про майже середній позитивний зв'язок між спекл-зображенням та мікроскопічним знімком, що є досить непоганим показником.

Для другого зразка коефіцієнт кореляції склав 0.4, що свідчить про середній позитивний зв'язок між зображеннями.

Коефіцієнт кореляції для зображень третього зразка склав 0.45, що як і у попередній парі зображень вказує на середній позитивний зв'язок.

## VI. ВИСНОВКИ

У ході дослідження було розроблено методику для порівняння спекл-зображень і мікроскопічних знімків зразків крові, яка включає використання кореляційного аналізу для попарної перевірки зображень кожного зразка крові. Це дозволило ефективно оцінити ступінь подібності між різними методами аналізу, що важливо для забезпечення точності діагностики.

Спекл-аналіз виявився ефективним інструментом для дослідження морфології

клітин крові, зокрема еритроцитів, завдяки можливості отримувати детальні інтерференційні зображення, які піддаються подальшій кількісній оцінці за допомогою комп'ютерної моделі. Це забезпечує високу точність вимірювань і дозволяє виявляти зміни в структурі крові на ранніх стадіях захворювань.

Мікроскопічний аналіз, в свою чергу, продовжує залишатися важливим класичним методом для дослідження зразків крові, який дозволяє отримувати детальні зображення клітин та оцінювати їх стан. Використання програмного забезпечення «Carl Zeiss Vision AxioVision Viewer 4.8» забезпечує високоякісну фіксацію знімків, що необхідно для подальшого аналізу.

Розроблена комп'ютерна модель для аналізу спекл-зображень та мікроскопічних знімків дозволяє автоматизувати процес порівняння зображень, що значно знижує ймовірність помилок і підвищує ефективність аналізу.

Перспективи подальших досліджень полягають у вдосконаленні методів спекл-аналізу та інтеграції їх з іншими діагностичними методами для забезпечення комплексного підходу до дослідження крові та інших біологічних зразків.

**Фінансування.** Дане дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

**ORCID ID та внесок авторів:**

0009-0000-2101-7918 (D, C) Anastasia Baikova

0009-0000-4519-7570 (D, C) Viktor Borovskyi

0000-0002-6889-3197 (E) Svitlana Vovianko

0000-0002-4351-527X (A, B, E, F), Nikolay Bogomolov

A – Концепція роботи та дизайн, B – аналіз стандартів надання медичної допомоги та протоколів лікування, C – Проектування алгоритмів, D – Написання статті, E – Критичний огляд, F – Остаточне схвалення статті.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dybas J, Alcicek FC, Wajda A, et al. Trends in biomedical analysis of red blood cells – Raman spectroscopy against other spectroscopic, microscopic and classical techniques. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2021;146:116481. doi:10.1016/j.trac.2021.116481
2. Nadort A, Kalkman K, Van Leeuwen TG, Faber DJ. Quantitative blood flow velocity imaging using laser speckle flowmetry. *Scientific Reports*. 2016;6(1). doi:10.1038/srep25258
3. Markwalder, Gush, Khan, Murdoch, Krstajić. In vivo laser speckle contrast imaging of microvascular blood perfusion using a chip-on-tip camera. *iScience*. 2024;27(3). doi:10.1016/j.isci.2024
4. Toderi MA, Riquelme BD, Galizzi GE. Biospeckle laser as a tool to analyze erythrocyte aggregation. *Optical Engineering*. 2022;61(12). doi:10.1117/1.oe.61.12.124101
5. Cerulean. Unlocking the Potential: Advantages of In Vitro Research over In Vivo Studies. LinkedIn. 11.04.2024: [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/unlocking-potential-advantages-vitro-research-over-vivo-studies-rlube>. 18.09.2024
6. Li D, Zhang Y, Chen B. Improving sampling depth of laser speckle imaging by topical optical clearing: A theoretical and in vivo study. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. 2019;13(02). doi:10.1142/s1793545820500042
7. Goodman JW. *Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications*, second edition.; 2020. doi:10.1117/3.2548484
8. Yang S, Xing D. *Biomedical photoacoustics*. Jenny Stanford Publishing; 2020.
9. Saúde AV, De Menezes FS, Freitas PLS, Rabelo GF, Braga RA. Alternative measures for biospeckle image analysis. *Journal of the Optical Society of America A*. 2012;29(8):1648. doi:10.1364/josaa.29.001648
10. Богомолов, М. Ф. Комп'ютерна обробка спекл-інтерферограм для оптичного діагностування біологічних мікрооб'єктів / Богомолов М. Ф., Шликов В. В., Вовянко С. І. // *Біомедична інженерія і технологія*. – 2021. – № 6. – С. 99-108. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52835>
11. Heeman, Steenbergen, Van Dam G, Boerma C. Clinical Applications of Laser speckle Contrast Imaging: a review. *Journal of Biomedical Optics*. 2019;24(8). doi:10.1117/1.JBO.24.8.080901
12. Draijer, Hondebrink, Van Leeuwen, Steenbergen. Review of Laser Speckle Contrast Techniques for Visualizing Tissue Perfusion. *Lasers Med Sci*. 2008;24(4):639-651. doi:10.1007/s10103-008-0626-3
13. Han G, Lu J, Dong X, et al. A study on an improved laser speckle contrast blood flow imaging methodology. *Infrared Physics & Technology*. 2024;142:105512. doi:10.1016/j.infrared.2024.105512
14. Popov AYU, Popova NA, Tyurin AV, Grimblatov V. Effects of speckle-like laser irradiation on growth of bacteria in vitro. *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE*. 2013;8569:85690C. doi:10.1117/12.2002128
15. Savchenko EA, Velichko EN. The use of speckle correlation analysis to determine blood flow velocity. *Optics and Spectroscopy*. 2020;128(7):998-1003. doi:10.1134/s0030400x2007019x
16. Dougherty G. *Medical image processing: techniques and applications*. Springer; 2011.

17. Prabu S, Gnanasekar JM. A study on image segmentation method for image processing. In: *Advances in Parallel Computing*. 2021. doi:10.3233/apc210223
18. Ijamaru, Gerald & Nwajana, Augustine & Oleka, Emmanuel & Otuka, Richard & Ihianle, Isibor & Ebenuwa, Solomon & Obi, Emenike. (2021). Image processing system using MATLAB-based analytics. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 10. 2566-2577. 10.11591/eei.v10i5.3160
19. MatLab Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://ch.mathworks.com/products/matlab.html?s\\_tid=hp\\_products\\_matlab](https://ch.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_products_matlab). 1.10.2024
20. Zeiss Primo Star Binocular Microscope [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://microscopecentral.com/products/zeiss-primo-star-iled-binocular-microscope>. 20.10.2024
21. Байкова А. Г., Богомолов М. Ф. Комп'ютерна модель для аналізу спекл-зображень еритроцитів крові. Сучасні технології біомедичної інженерії: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., м. Одеса, 8 – 10 трав. 2024 р. / НТУУ «Одеська політехніка». Одеса, 2024. С. 165
22. Байкова А. Г., Богомолов М. Ф. Удосконалення комп'ютерної моделі для дослідження параметрів крові людини. *Біомедична інженерія та технологія*. 2023. No 10 (2023). С. 80–89. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2023.10.280878>
23. Байкова А. Г., Богомолов М. Ф., Шликов В. В. Лазерний прилад для дослідження характеристик крові. *Біомедична інженерія та технологія*. 2022. № 8 (2022). С. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-8974.2022.8.270853>



UDC 612.111

# COMPARATIVE ANALYSIS OF SPECKLE VISUALIZATION AND MICROSCOPY METHODS FOR BLOOD SAMPLES INVESTIGATION

*Anastasiia Baikova*

[baykova.anastasiia@gmail.com](mailto:baykova.anastasiia@gmail.com)

*Nikolay Bogomolov*

[mfbogomolov@gmail.com](mailto:mfbogomolov@gmail.com)

*Svitlana Vovianko*

[sivovianko@gmail.com](mailto:sivovianko@gmail.com)

*Viktor Borovskyi*

[borovskyiviktor@gmail.com](mailto:borovskyiviktor@gmail.com)

Department of Biomedical Engineering  
National Technical University of Ukraine  
„Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute“  
Kyiv, Ukraine

**Abstract** – In modern biomedical engineering and medical diagnostics, there is a rapid development of methods for analyzing biological structures, particularly for studying blood properties. One of the effective approaches is the use of speckle interferometry, which allows for obtaining interference images of various microstructures, such as blood cells. The speckle analysis method is based on illuminating blood samples with coherent laser radiation, which generates speckle images that are analyzed using a developed computer model. Microscopic analysis, in turn, involves taking photographs of samples with a microscope followed by visual or software-based analysis. It is known that during blood circulation in vessels, erythrocytes interact with other blood cells (lymphocytes, leukocytes, etc.), which cannot be studied when measuring blood perfusion in in vivo conditions. This is why there is particular interest in using new methods for studying erythrocyte aggregation and other blood cell interactions in in vitro conditions, as such research conditions are more accurate and prevent various deviations due to the stability of the research environment. The study evaluates the accuracy of both methods in detecting microstructural changes in blood, such as aggregation and the number of erythrocytes due to their predominance in the analyzed blood samples. Speckle analysis demonstrated potential for rapid detection of changes in samples, allowing for automation of data processing. At the same time, the microscopic method provides highly detailed images, which are important for qualitative analysis but require more time and manual processing. The results of the study show that combining both approaches can significantly improve the accuracy of diagnostic procedures. The proposed computer model aligns with modern trends in the implementation of information and digital technologies in evidence-based medicine and can contribute to improving the diagnosis of diseases associated with changes in the morphology of blood erythrocytes.

**Keywords** – computer model, blood, speckle, interferometry, erythrocytes, microscopic analysis, blood parameters.