

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

УДК 535.3:616.3

Ю. Є. ПОУДАНЕН, А. В. КОЖЕМ'ЯКО

### ОПТИКО-ЦИФРОВІ ВУЗЬКОСМУГОВІ МЕТОДИ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ТА ПОКРАЩЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ ЕНДОСКОПІЇ

*Вінницький національний технічний університет,  
95, вул. Хмельницьке шосе, м. Вінниця, 21021 Україна*

**Анотація.** В даній статті розглянуто основні вузькосмугові оптико-цифрові методи та технології отримання цифрових зображень шляхом проведення ендоскопічного дослідження органів черевної порожнини. Проведено огляд та порівняння таких сучасних методів ендоскопії IEE (image-enhanced endoscopy) з покращенням візуалізації: NBI(narrow-band imaging), LCI (linked color imaging), Laser-BLI (blue laser imaging) або LED-BLI(blue light imaging), традиційна ендоскопія з використанням білого світла WLE (white light endoscopy) або WLI (white light imaging).

**Ключові слова:** лазерна ендоскопія, традиційна ендоскопія, вузькосмугова ендоскопія, вузькосмугове випромінювання, LED ендоскопія

**Abstract:** This article discusses the main narrowband opto-digital methods and technologies for obtaining digital images by endoscopic examination of the abdominal cavity. A review and comparison of the following modern methods of endoscopy IEE (image-enhanced endoscopy) with improved visualization is carried out: NBI (narrow-band imaging), LCI (linked color imaging), Laser-BLI (blue laser imaging) or LED-BLI (blue light imaging), traditional endoscopy using white light WLE (white light endoscopy) or WLI (white light imaging).

**Keywords:** laser endoscopy, traditional endoscopy, narrowband endoscopy, narrowband radiation, LED endoscopy

DOI: 10.31649/1681-7893-2023-46-2-44-54

#### ВСТУП

У сучасному розвинутому світі хвороби шлунково-кишкового тракту (ШКТ) займають одне з перших місць по кількості захворювань [1,2]. Окрім розладів ШКТ, найбільш проблемними у виявленні є ранні стадії раку спричинені гастритом, запальні процеси, гастрит асоційованим з бактерією *H.pylori*, а також можливості виявлення самої бактерії, крім того, стравохід Барретта та пухлини різного типу [1,3]. Діагностування хвороб на ранніх стадіях, допоможе збільшити рівень виживання пацієнтів з раком шлунку. Діагностика неінвазивними методами не завжди дає повну картину перебігу хвороби пацієнта і “золотим стандартом” в діагностиці захворювань черевної порожнини вважається метод ендоскопічного дослідження. Ендоскопія - достатньо розвинений спосіб дослідження і діагностування захворювань та має в собі чимало технологій і методів для дослідження та виявлення запалень або травм, а також програмних способів розпізнавання патернів поверхні слизової оболонки, структур вен і капілярів для визначення відхилень[4]. Все частіше в наукових статтях, починаючи з середини 2010 років, згадується ШІ (штучний інтелект) як додаток, який слугує допомогою в визначенні захворювань, індикатором ділянок, які заслуговують на увагу ендоскопіста, а також як допомога молодим ендоскопістам в проведенні дослідження. Еволюція ендоскопічних апаратів, включає в собі можливості програмно виділяти і відслідковувати ділянки, на які слід звернути увагу, а також способи відсікання червоного кольору при кровотечі, режими перемикання для покращення картини, і все це досягається завдяки потужному обладнанню, яке і забезпечує усі додаткові функції[4].

---

© Ю.Є. ПОУДАНЕН, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, 2023

---

---

# МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

Метою статті є аналіз сучасних оптико-цифрових вузькосмугових методів отримання ендоскопічних зображень, способів для виділення ділянок, які потребують уваги ендоскопіста, а також сучасних розповсюджених технологій покращення візуалізації для аналізу поверхні слизової оболонки органів черевної порожнини.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основою для якісної візуалізації дослідження ендоскопічним апаратом слугують три основні компоненти: якісне світло, лінза і апаратна частина, яка включає в собі потужний процесор і програмне забезпечення для попередньої і після обробки отриманого результату в вигляді зображення чи відеоряду.

Аналіз останніх наукових статей і досліджень демонструє тенденцію розвитку апаратних і програмних засобів для аналізу зображень, виділення ділянок ураження та підвищенню якості зображення. Програмне забезпечення дозволяє молодим ендоскопістам швидше і краще проводити діагностику за допомогою допоміжних систем, які підсвічують ділянки, на які слід звернути увагу, ділянки для біопсії, а також іншу корисну інформацію.

## 1. ТРАДИЦІЙНА ЕНДОСКОПІЯ

Традиційна ендоскопія або дослідження за допомогою використання світла білого кольору (WLI) технологія, яка застосовує лампу світла в діапазоні довжин хвиль: 400-700 нм [1] зазвичай ксенонову, дозволяє отримувати чіткі зображення з високою роздільною здатністю картинки.

Перевагами методу є:

- проведення поверхневого огляду внутрішніх органів, спираючись на досвід лікаря ендоскопіста
- висока роздільна здатність зображення і відеоряду

До недоліків методу слід віднести лише візуальний огляд поверхні тканин з малопомітними змінами, без можливості якісного огляду під збільшенням. Для більш детальної інформації потрібно використовувати додаткові підфарбовувачі для отримання даних про наявність патологічних змін на поверхні слизової оболонки, або додаткові методи з використанням інших покращених джерел освітлення, або цифрові способи покращення зображень. Забір біопсії також ускладнюється, оскільки все залежить від досвіду лікаря ендоскопіста, а також від інтенсивності світла, завдяки якому треба знайти потрібне місце і провести втручання.

Перш ніж розглядати сучасні цифрові методи покращення візуалізації, слід розпочати з ранніх методів аналізу слизової оболонки, таких як метод хромоендоскопії, в основі якої лежить використання підфарбовувачів, за допомогою яких збільшують контрастність і підкреслюють уражені ділянки. Даний метод широко застосовується з 1966 року і в основі його лежить використання контрастуючого барвника індигокарміну або розчину Люголя, який наноситься методом розпилення рідини на можливе уражене місце, для виявлення патологій, барвник накопичується у щілинах і нерівностях епітелію слизової оболонки, тим самим посилюючи вигляд рельєфу поверхні слизової оболонки досліджуваної ділянки [2]. Після огляду можливе проведення прицільного забору біопсії для гістологічного аналізу. Хоч процедура і безпечна для людини, але займає значно більше часу на підготовку, на розпорошування розчину, потім на очікування дії самого розчину на слизову та 2-3 хвилини для оцінки результату. Крім затраченого часу на оцінку і проведення процедури, в пацієнта можуть супроводжуватися побічні реакції після використання фарбуючих розчинів, такі як: подразнення стравоходу, печіння та хворобливі відчуття. Контрастуючі речовини впливають на поверхню слизової оболонки, виявляючи реакцію клітин і викриваючи осередки запалення, наприклад, розчин Люголя проникає в клітини плоского епітелію і забарвлює глікоген у коричневий колір. Клітини, які не містять глікогену, тобто уражені клітини з дисплазією, не будуть забарвлюватися, що дає можливість знайти осередки з порушенням епітелію.

Класична ендоскопія, наразі, це стандартна процедура для аналізу і оцінки поверхні слизової оболонки внутрішніх органів. Процедура швидка по часу і відносно дешева. Зображення дає картинку нормального тіла шлунку із складками, так званими ругами, які варіюють залежно від ступеня інсуфляції. Регулярне розташування збірних венул (*regular arrangement of collecting venules* — RAC) є ознакою нормальної поверхні слизової оболонки дна та антрального відділу шлунка, яка в нормі гладенька, оксамитова, візуалізується численними точками червоного кольору. Заявлено, що RAC з меншою кривизною, асоціюється з *H.pylori* негативною слизовою оболонкою шлунка та зниженим ризиком розвитку раку шлунка [3]. Класична ендоскопія використовується у всіх ендоскопічних апаратах для загального огляду і проведення дослідження.

# МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

## 2. ОГЛЯД МЕТОДІВ ЕНДОСКОПІЇ З ПОКРАЩЕНИМ ЗОБРАЖЕННЯМ

Спираючися на недоліки традиційної хромоендоскопії, такі як: низька швидкість, якість, залежність від досвіду лікаря ендоскопіста, а також застосування додаткових інструментів, контрастних розчинів, почали з'являтися нові методи покращення зображення для підвищення контрасту уражених тканин слизової оболонки. Технології стрімко розвиваються і починаючи з 2000-х років нові методи, серед яких електронна хромоендоскопія або ІЕЕ ( укр- ендоскопія з покращеною візуалізацією) почали стрімко розвиватися покращуючи швидкість та зручність проведення ендоскопічних досліджень[4, 5] і для здійснення забору біопсії для подальшого гістологічного дослідження, зручність і швидкість досягається за рахунок вибору режиму для перемикання однією кнопкою від ендоскопії з використанням білого світла до ендоскопії з покращеною візуалізацією. На відміну від оптоволоконних ендоскопів, які захоплюють оптичні сигнали, електронний ендоскоп отримує зображення в електронних сигналах, які після отримання можна проаналізувати одним з методів обробки зображення [6]. Враховуючи всі недоліки хромоендоскопії, розвиток методів для покращення зображення, шляхом як програмних, так і апаратних складових, має велике значення. Ендоскопія покращеним зображенням у поєднанні з WLE дозволяє краще підсвітити поверхню слизової, вени і судинні розгалуження, а також виділити різницю в кольоровому відображенні уражених осередків від здорової тканини. Загалом для доповнення WLE було розроблено декілька методів покращення зображення ІЕЕ, такі як BLI, NBI, LCI. Загальна класифікація методів ендоскопічної візуалізації представлена в об'єктно-орієнтованому виді на рис.1

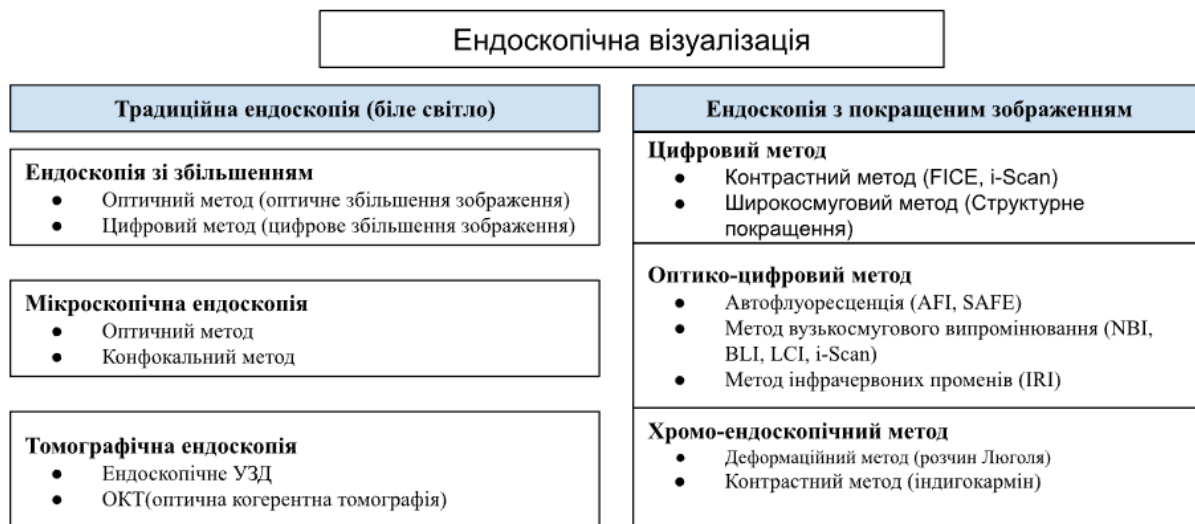


Рисунок 1 – Класифікація ендоскопічних методів візуалізації(спрощений варіант [4])

Як зазначено в роботі [7], нові методи покращеного зображення дозволяють якісно діагностувати колоректальні пухлини, і з кожним роком знання з цієї сфери застосування тільки збільшуються. Ендоскопія з покращеним зображенням включає в собі різні засоби посилення контрастності зображення під час ендоскопії, апаратні засоби для виділення місць ураження, що в свою чергу дає повну картину для визначення патології.

### 3. NBI МЕТОД

NBI (Olympus Medical Systems, Токіо, Японія), один з методів вузькосмугової візуалізації, який вперше був використаний в 2005 році. З того моменту зусиллями ендоскопістів і клінічними дослідниками було зібрано результати багатьох досліджень [8], що дало в результаті широке розповсюдження методу. В науковій роботі [8] зазначено, що 415 нм вузькосмугового світла, дозволяє краще виділяти капілярні зображення, які затемнюються при дослідженні традиційною ендоскопією з використанням білого світла .

Основним джерелом світла системи є ксенонова лампа і розміщений фільтр NBI між лампою і червоно-зелено-синім поворотним фільтром. Апарат дозволяє перемикання між WLI та NBI режимами під час огляду пацієнта рис.2. NBI фільтр представляє собою стандартний RGB фільтр, який відсікає

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

червоний спектр світла рис.2, при цьому ширина спектральних смуг зеленого та синього світла зменшується з 50-70 нм до 20-30 нм [8].

Вузькоспектральне світло поглинається клітинами гемоглобіну, а зменшений зелений і синій спектр проникає в поверхневі тканини. Даний метод показав більш яскраве зображення поверхневої сітки судин і слизової оболонки. NBI використовує оптичне явище, при якому глибина поглинання світла тканинами, залежить від довжини хвилі, тобто чим коротка довжина хвилі, тим краще буде поверхневе поглинання. Синє світло у видимому спектрі краще поглинається поверхнею слизової оболонки, в той час як червоне світло проникає в саму глибину, відображаючи підслизову оболонку. Спираючись на це явище, NBI підсилює дію синього світла, зменшуючи при цьому дію червоного світла, задля кращої видимості паттерну поверхні слизової оболонки.

NBI два джерела світла синього кольору довжиною хвилі 415 нм, щоб виділяти капіляри, що знаходяться більш поверхнево у слизовій, і одне джерело світла зеленого кольору 540 нм для судин, більших, ніж капіляри, що розташовуються глибше відносно поверхні слизової. Обидва джерела поглинаються клітинами гемоглобіну для кращого виділення кровоносних судин і поверхні слизової оболонки [9]

### 4. LCI МЕТОД

LCI (LASEREO; FUJIFILM Co., Токіо, Японія). Новітній метод для покращення зображення, з попередньою і після обробкою було представлено в 2014 році разом з WLI в одному ендоскопічному апараті, як два окремих режими [10], між якими можна перемикається і які взаємодоповнюють один одного. Метод дозволяє виділяти осередки запалення і точно розмежувати їх завдяки підвищенню контрасту червоного кольору світла. Метод застосовується для виявлення і подальшого дослідження гастриту, кишково-шлункової метаплазії і передракових уражень тканин [4]. Чітке виявлення паттернів, включаючи чисту мікроструктуру поверхні слизової оболонки за допомогою LCI, досягається за допомогою коротких хвиль в 410 нм і 450 нм [4]. Хвиля довжиною в 410 нм підкреслює як мікроструктуру, так і мікросудини в поверхневому шарі слизової оболонки [4]. Принцип роботи методу LCI представлено на рис 3, з якого видно, як множинне світло проникає на різних рівнях в тканину, підсвічуючи поверхню для виділення контурів поверхні слизової і розмежування уражених ділянок, а також місць, на які варто звернути увагу. Завдяки випромінюванню вузькосмугового світла отримується висококонтрасне зображення слизової оболонки, а різниця в кольорі близькому до кольору слизової оболонки підкреслюється різницею між освітленням і обробкою сигналу, що в результаті робить червоні і білі ділянки більше насиченими, зберігаючи природні кольорові тони. За допомогою цієї можливості кольорового насичення, метод може бути корисний для візуалізації червоних/коричневих ділянок слизової оболонки та для виявлення запалення і незначних змін поверхні, мікроповерхневих та мікросудинних візерунків, невеликі кольорові відмінності візуалізуються за допомогою природних тонів.

Було проведено багато досліджень на виявлення *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) методом LCI. У науковій статті Elj Umegaki провів аналіз робіт по LCI методу [4], у яких дійшов до висновку, що порівняно з WLI, він демонструє більш чітку картину поверхні слизової оболонки, а також ділянки атрофії поверхні, які можуть бути сигналом розвитку карциноми шлунка. Тому дуже важливо виявляти хронічний гастрит, індукований інфекцією *H. pylori*, який в 95% випадках є причиною раку шлунка. Дослідження показують, що LCI виділяє чітку межу між атрофією і неатрофічною поверхнею слизової оболонки різних станів гастриту, незалежно від наявності інфекції *H.pylori*[4]. Також були проведені оцінки ендоскопічних зображень гастриту асоційованого з *H. pylori* за допомогою методу LCI, основні ознаки демонструють почервоніння фундальних залоз, зернисту ерозію та пурпуровий слиз[4]. Спираючись на отримані оцінки, LCI показав високу чутливість для диференціальної діагностики *H. pylori* асоційованого гастриту та є одним з ефективних методів діагностики, а при дуальному використанні разом з ендоскопією зі збільшенням, дало кращі результати ніж разом з іншими методами ендоскопії з покращеною візуалізацією. Крім перелічених можливостей, забір біопсії з використанням методу LCI набагато легше для молодих спеціалістів, які тільки вчаться, також в статті [4] зазначено і оглянуто, що точність цільових біопсій при шлунково-кишкової метаплазії складає 23.7% для WLI і 84.2% для LCI, що свідчить про те, що LCI запроваджує новий спосіб діагностики шлунково-кишкової метаплазії під час звичайної ендоскопії.

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

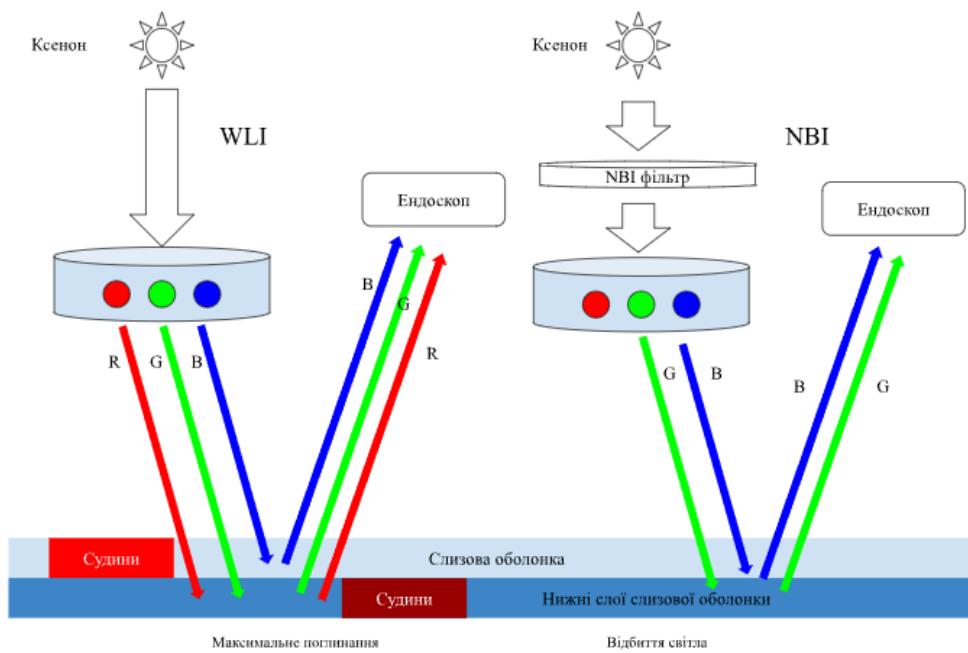


Рисунок 2 – Застосування фільтру NBI.(адапована схема [8])

Laser-BLI (Lasereo; FUJIFILM Co., Токіо, Японія) метод був вперше представлений у 2014 році. Технологія представляє собою два типи лазерів з довжинами хвиль  $410 \pm 10$  нм та  $450 \pm 10$  нм. Лазер довжиною хвилі  $450 \pm 10$  нм проводить світло, по аналогії з ксеноновою лампою, використовуючи люмінофор(фосфор) для забезпечення білого світла. Схема підсвічування лазерів представлена на рис.4. Лазер довжиною  $410 \pm 10$  нм виділяє судинну сітку слизової оболонки [11, 12]. Інший лазер  $450 \pm 10$  нм в компонуванні з люмінофором(фосфор) є джерелом білого світла по аналогії з ксеноновою лампою [12].

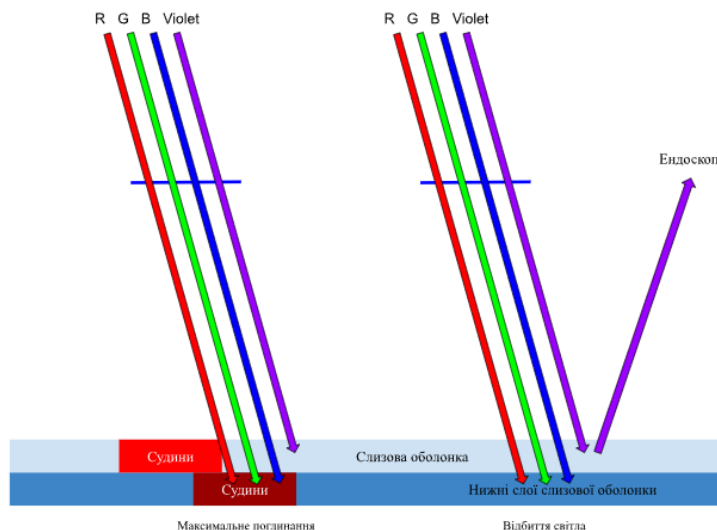


Рисунок 3 – Принцип роботи LCI

За допомогою контролю співвідношення інтенсивності рівня випромінювання обох лазерів у поєднанні з обробкою зображення, ендоскопічний апарат має 4 режими роботи: WLE/FICE, BLI-bright, BLI. Перемиканням оптичних режимів-фільтрів, лікар ендоскопіст, може вибрати один з 4 режимів для кращого дослідження ділянки слизової оболонки, якщо є підозри на відхилення від норм вигляду поверхні або органу.

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

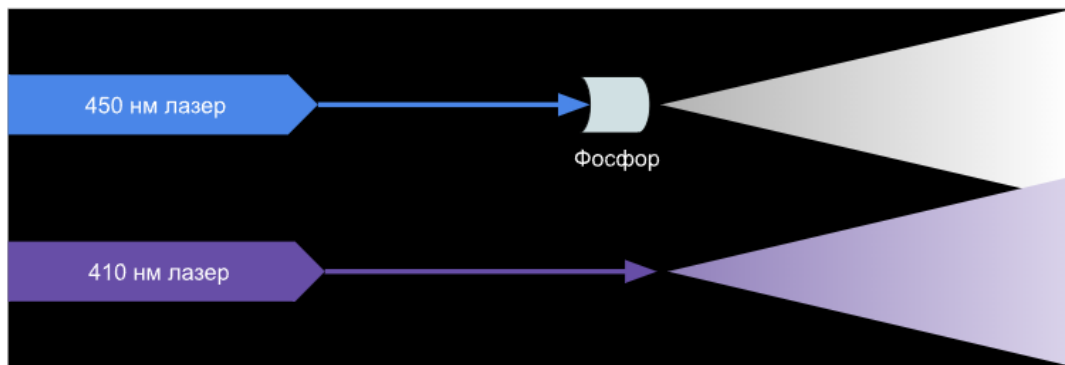


Рисунок 4 – Лазерне підсвічування за допомогою двох лазерів і люмінофора білого світла.

### 5. VLI МЕТОД

Перелічені вище режими ендоскопічного апарату працюють по різному і забезпечують візуалізацію для різних цілей. Назви режимів, опис їх та порівняння представлені в табл. 1

Таблиця 1

#### Характеристики режимів роботи VLI

Режим	Призначення	Опис
Нормальний (WLE)	Обстеження в в білому кольорі світла	Така ж кольоропередача, як при традиційній ендоскопії (використання ксенонової лампи)
FICE	Покращення кольорової передачі	Режим дає змогу кращого розрізнення більш тонких змін кольору. Завдяки підвищенню контрастності кольорів слизових оболонок і кровоносних судин погіршується видимість кровоносних судин. Рівень яскравості не відрізняється від звичайних зображень.
VLI	Обстеження кровоносних судин і поверхневих структур слизової оболонки	Зображення, придатні для покращення зображення поверхневих мікросудин, генеруються за рахунок збільшення короткохвильових компонентів світла від лазерів і зменшення контрасту, що виникає через присутність гемоглобіну.
VLI-Bright	Обстеження кровоносних судин і поверхневих структур слизової оболонки	Можливість отримати більш яскраві зображення, навіть відносно віддалених об'єктів. Досягається це за рахунок незначного збільшення світла порівняно зі звичайним режимом VLI. Режим дозволяє збільшити контраст між кровоносними судинами і поверхневими структурами і порівняно кращий результат ніж в Нормальному або FICE режимі, але трохи гірший, ніж у режимі VLI.

Принцип роботи методу Laser-VLI, який представлено на рис.5, полягає в кращому виділенні і візуалізації мікроструктури капілярів і глибоких вен поверхні слизової оболонки за рахунок такого явища, як світлопоглинальна характеристика гемоглобіну.

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

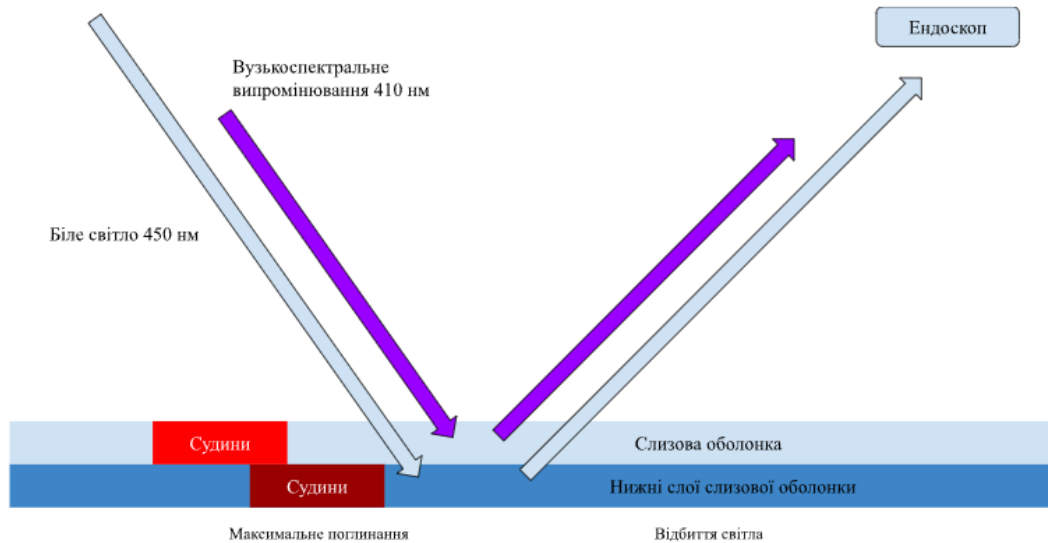


Рисунок 5 – Принцип роботи Laser-BLI

Існують дві технології BLI з використанням лазера та LED світло діодів, як джерела світла, в зв'язку з певними обмеженнями для США і європейських країн, в яких не схвалено використання лазерної ендоскопії, для цих регіонів застосовується LED-BLI [7], а лазерна здебільшого в країнах Азії [7].

LED-BLI (ELUXEO; FUJIFILM Co., Токіо, Японія) складається з LED ламп чотирьох кольорів [10], а саме:

- Синьо-фіолетовий (~410 нм)
- Синій (~450 нм)
- Зелений (500-600 нм)
- Червоний (~ 630 нм)

Порівняння довжини хвилі між Laser-BLI та LED-BLI представлена на рис.6. Поглинання світла гемоглобіном, обумовлене короткою хвилею направленою світла ~410 нм, цим самим забезпечуючи якісне підсвічування сітки кровоносних судин і капілярів.

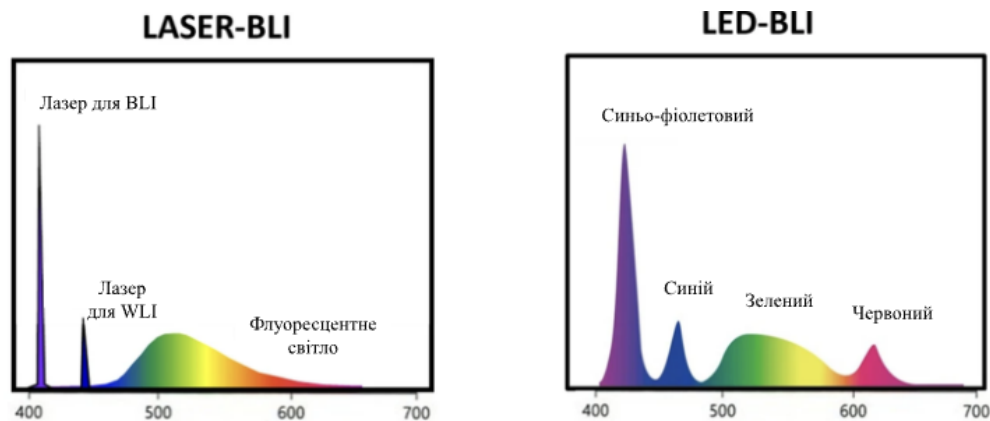


Рисунок 6 – Різниця довжини хвилі і типу світла Laser-BLI і LED-BLI

Система дозволяє контролювати джерело світла усіх чотирьох LED ламп незалежно, завдяки цьому відповідному співвідношенню досягається покращення зображення [9]. Принцип роботи LED-BLI представлено на рис. 7

Були проведені дослідження у статті [13], в результаті якого передбачалися “майже однакові” характеристики і принцип роботи між Laser-BLI та LED-BLI. Було оглянуто 763 зображення з 65 уражень слизової оболонки при дослідженнях. Середній розмір поліпа складав  $24.5 \pm 13.4$  нм, гістопатологія

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

включала 13 зубчастих уражень і 50 новоутворень. Рівень узгодженості між Laser-BLI та LED-BLI за класифікацією японської групи експертів з вузькосмугової візуалізації (Japan narrow band imaging expert team) JNET становив 92,5% (699/756). Зважена  $\kappa$ -статистика склала 0,99. Відсоток "майже однакових" порівняльних оцінок поверхневої візуалізації, візуалізації судин та яскравості серед усіх ендоскопістів становив 95,4%, 95,9% та 95,0% відповідно [13].

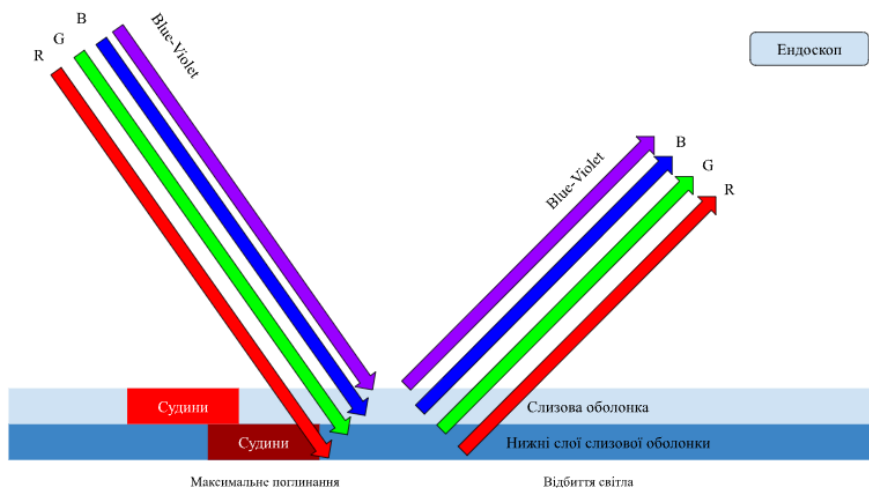


Рисунок 7 – Принцип роботи LED-BLI

### 6. ЗАГАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДІВ

Оглянувши найпоширеніші методи вузькосмугової оптико-цифрової візуалізації, слід зазначити, що кожен з методів застосовується як додатковий покращувач зображення для традиційної ендоскопії з використанням білого світла WLE [1-13]. Окрім того, методи запатентовані і реалізовані різними виробниками, але реалізують основну технологію вузькосмугової візуалізації, тому порівняти два метода в одному і тому ж самому середовищі занадто складна задача, оскільки потребує наявності двох, а то і більше ендоскопічних апаратів, натомість науковці проводили якісні порівняння зображень і отриманих результатів гістопатології і результати біопсії, в яких визначають якість і точність використання того чи іншого методу, в залежності від досліджуваного об'єкту поверхні слизової оболонки. Як було зазначено в статті [5] лазерна чи світлодіодна ендоскопія краще застосовується для дослідження верхніх відділів шлунково-кишкового тракту, але при огляді, якщо один метод показав себе ефективним в верхніх ділянках, то немає сенсу порівнювати обидва методи і отримані зображення. Також автор на основі свого досвіду зазначив, що режим BLI якісніше візуалізує області від глотки до нижньої частини стравоходу, натомість LCI краще здійснює візуалізацію від стравохідно-шлункового з'єднання (наприклад, стравоходу Барретта) до дванадцятипалої кишки, де BLI (або BLI-bright) також може бути корисний для огляду під збільшенням [5].

Клінічними дослідженнями, було визначено метод NBI під збільшенням для діагностики стравоходу Барретта, розмежовує звичайні і незвичайні мікроструктурні і капілярні патерни, описано у статті [14], також зазначено, що NBI краще ідентифікує колоректальні поліпи та рак шлунка, особливо в поєднанні зі збільшенням зображення. Методи NBI та BLI здійснюють кращу візуалізацію верхніх відділів ШКТ, тоді як LCI краще підходить для шлунку, оскільки на відміну від стравоходу, шлунок має більший просвіт. Метод LCI має достатню інтенсивність світла для освітлення широкого просвіту, що в свою чергу спрощує розпізнавання поверхневих неопластичних уражень у шлунку [10]. До появи LCI методу, BLI та NBI методи зазвичай рідко використовувалися для діагностики ранніх стадій раку, оскільки слабка інтенсивність світла, давала затемнені зображення [10].

Спираючись на результати досліджень [1-14], можливо порівняти кожен з методів за основними спільними ознаками. Порівняльна характеристика методів наведена в табл. 2. Як видно з табл. 2, представлено два споріднені методи для вузькосмугової візуалізації, як NBI та BLI, методи працюють на основі відбивання світла клітинами гемоглобіну, тоді як LCI працює за допомогою попередньої та пост обробкою зображення для насичення кольорів, тим самим слугуючи покращувачем насиченості зображення.



# МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

**Таблиця 2**

## Порівняння характеристик методів

Параметри	WLI	NBI	LCI	Laser/LED BLI
Інформація про колір	(RGB) Синій, Зелений, червоний	Синій, зелений	(RGB) Синій, Зелений, Червоний	<b>Laser:</b> Синій, фіолетовий <b>LED:</b> Blue-Violet + RGB
Діапазон довжини світла	400-700 нм	Синій: 415 нм Зелений: 540 нм	410 нм і 450 нм	<b>Laser</b> Синій: 410 нм Фіолетовий: 450 нм <b>LED:</b> Синьо-фіолетовий: ~410 нм Синій: ~450 нм Зелений: 500-600 нм Червоний: ~630 нм
Поглинання	Загальне освітлення поверхні слизової без особливих відмінностей	Поглинання гемоглобіном, судинами	Загальне освітлення	Поглинання гемоглобіном
Відбивання	Повне відбиття поверхні	Слизова оболонка	Червоні і білі ділянки стають насиченіші	Нижні слої, капілярні структури і вени
Дистанція	Вигляд крупним планом Збільшений вигляд Віддалений вид	Вигляд крупним планом Збільшений вигляд	Віддалений вид Вид крупним планом	Вигляд крупним планом Збільшений вигляд
Видимість структур і судин	Нечітка видимість	Найчіткіша видимість	Чітка видимість	Найчіткіша видимість

## ВИСНОВКИ

В роботі було проведено огляд основних оптико-цифрових методів вузькосмугової візуалізації. В результаті дослідження можна зазначити, що кожен із методів є прогресивним і виправданим клінічними дослідженнями методом, для визначення ранніх стадій раку, гастриту викликаного бактерією *H. pylori*, пухлин і загальних запальних процесів ШКТ. Визначено, що застарілі методи на основі використання барвників поступово стають не актуальними, відходять у минуле, натомість електронна хромоендоскопія і сучасні методи освітлення поверхні слизової оболонки та оброблення отриманих зображень потребують подальших наукових досліджень та, разом із досягненнями технологічного прогресу в галузі біомедичних технологій, сприяють покращенню якості, швидкості та ефективності огляду пацієнта та подальшого діагностування. Всі оглянуті методи є науково обґрунтованими та створюють широке поле для досліджень і оцінки результатів як для покращення параметрів освітлення і збільшення інформативності цифрового ендоскопічного зображення, так і для програмної частини, а саме для підвищення точності і швидкості обробки відеоряду і зображень.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Buchner AM. The Role of Chromoendoscopy in Evaluating Colorectal Dysplasia. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*. 2017 Jun;13(6):336-347. PMID: 28690450; PMCID: PMC5495038. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5495038/>
2. Технології підсилення ендоскопічного зображення в діагностиці передракової патології слизової оболонки шлунка, URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/34492>

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

3. Ендоскопія з високою роздільною здатністю та nbi в діагностиці уражень слизової оболонки верхніх відділів травного тракту URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/38615>
4. E. Umegaki, H. Misawa, O. Handa, H. Matsumoto, and A. Shiotani, "Linked Color Imaging for Stomach," *Diagnostics*, vol. 13, no. 3, p. 467, Jan. 2023, doi: 10.3390/diagnostics13030467. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics13030467>
5. H. Osawa et al., "Linked Color Imaging and Blue Laser Imaging for Upper Gastrointestinal Screening," *Clinical Endoscopy*, vol. 51, no. 6. The Korean Society of Gastrointestinal Endoscopy, pp. 513–526, Nov. 30, 2018. doi: 10.5946/ce.2018.132. Available: <http://dx.doi.org/10.5946/ce.2018.132>
6. J.-Y. Jang, "The Past, Present, and Future of Image-Enhanced Endoscopy," *Clinical Endoscopy*, vol. 48, no. 6. The Korean Society of Gastrointestinal Endoscopy, pp. 466–475, Nov. 30, 2015. doi: 10.5946/ce.2015.48.6.466. Available: <http://dx.doi.org/10.5946/ce.2015.48.6.466>
7. Higurashi, T., Ashikari, K., Tamura, S. et al. Comparison of the diagnostic performance of NBI, Laser-BLI and LED-BLI: a randomized controlled noninferiority trial. *Surg Endosc* 36, 7577–7587 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09197-8>
8. B. Chatrangsun and R.-K. Vilaichone, "Endoscopic Diagnosis for H. pylori Infection: White Light Imaging (WLI) vs. Image-Enhanced Endoscopy (IEE)," *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol. 22, no. 9. EpiSmart Science Vector Ltd, pp. 3031–3038, Sep. 01, 2021. doi: 10.31557/apjcp.2021.22.9.3031. Available: <http://dx.doi.org/10.31557/APJCP.2021.22.9.3031>
9. Narrow Band Imaging: Technology Basis and Research and Development History *Clin Endosc* 2015;48 (6): 476–480. Publication Date (Web): 2015 November 30 (Focused Review Series: Image Enhanced Endoscopy) doi:<https://doi.org/10.5946/ce.2015.48.6.476>
10. S. Shinozaki, H. Osawa, Y. Hayashi, A. K. Lefor, and H. Yamamoto, "Linked color imaging for the detection of early gastrointestinal neoplasms," *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, vol. 12. SAGE Publications, p. 175628481988524, Jan. 2019. doi: 10.1177/1756284819885246. Available: <http://dx.doi.org/10.1177/1756284819885246>
11. Blue Laser Imaging, Blue Light Imaging, and Linked Color Imaging for the Detection and Characterization of Colorectal Tumors <https://www.gutnliver.org/journal/view.html?doi=10.5009/gnl18276>
12. K. Togashi et al., "Blue laser imaging endoscopy system for the early detection and characterization of colorectal lesions: a guide for the endoscopist," *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, vol. 9, no. 1. SAGE Publications, pp. 50–56, Aug. 31, 2015. doi: 10.1177/1756283x15603614. Available: <http://dx.doi.org/10.1177/1756283x15603614>
13. Okada, M., Yoshida, N., Kashida, H., Hayashi, Y., Shinozaki, S., Yoshimoto, S., Fujinuma, T., Sakamoto, H., Sunada, K., Tomita, Y., Dohi, O., Inoue, K., Hirose, R., Itoh, Y., Komeda, Y., Sekai, I., Okai, N., Lefor, A.K. and Yamamoto, H. (2024), Comparison of blue laser imaging and light-emitting diode-blue light imaging for the characterization of colorectal polyps using the Japan narrow-band imaging expert team classification: The LASEREO and ELUXEO COLonoscopic study. *DEN Open*, 4: e245. <https://doi.org/10.1002/deo2.245>
14. V. Subramanian and K. Rangunath, "Advanced Endoscopic Imaging: A Review of Commercially Available Technologies," *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, vol. 12, no. 3. Elsevier BV, pp. 368–376.e1, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.cgh.2013.06.015. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cgh.2013.06.015>.

### REFERENCES

1. Buchner AM. The Role of Chromoendoscopy in Evaluating Colorectal Dysplasia. *Gastroenterol Hepatol (N Y)*. 2017 Jun;13(6):336–347. PMID: 28690450; PMCID: PMC5495038. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5495038/>
2. Endoscopic image enhancement technologies in the diagnosis of precancerous pathology of the gastric mucosa, URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/34492>
3. High-resolution endoscopy and nbi in the diagnosis of mucosal lesions of the upper digestive tract URL: <http://www.mif-ua.com/archive/article/38615>
4. E. Umegaki, H. Misawa, O. Handa, H. Matsumoto, and A. Shiotani, "Linked Color Imaging for Stomach," *Diagnostics*, vol. 13, no. 3, p. 467, Jan. 2023, doi: 10.3390/diagnostics13030467. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/diagnostics13030467>

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

5. H. Osawa et al., “Linked Color Imaging and Blue Laser Imaging for Upper Gastrointestinal Screening,” *Clinical Endoscopy*, vol. 51, no. 6. The Korean Society of Gastrointestinal Endoscopy, pp. 513–526, Nov. 30, 2018. doi: 10.5946/ce.2018.132. Available: <http://dx.doi.org/10.5946/ce.2018.132>
6. J.-Y. Jang, “The Past, Present, and Future of Image-Enhanced Endoscopy,” *Clinical Endoscopy*, vol. 48, no. 6. The Korean Society of Gastrointestinal Endoscopy, pp. 466–475, Nov. 30, 2015. doi: 10.5946/ce.2015.48.6.466. Available: <http://dx.doi.org/10.5946/ce.2015.48.6.466>
7. Higurashi, T., Ashikari, K., Tamura, S. et al. Comparison of the diagnostic performance of NBI, Laser-BLI and LED-BLI: a randomized controlled noninferiority trial. *Surg Endosc* 36, 7577–7587 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09197-8>
8. B. Chatrangsun and R.-K. Vilaichone, “Endoscopic Diagnosis for *H. pylori* Infection: White Light Imaging (WLI) vs. Image-Enhanced Endoscopy (IEE),” *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol. 22, no. 9. EpiSmart Science Vector Ltd, pp. 3031–3038, Sep. 01, 2021. doi: 10.31557/apjcp.2021.22.9.3031. Available: <http://dx.doi.org/10.31557/APJCP.2021.22.9.3031>
9. Narrow Band Imaging: Technology Basis and Research and Development History *Clin Endosc* 2015;48 (6): 476-480. Publication Date (Web): 2015 November 30 (Focused Review Series: Image Enhanced Endoscopy) doi:<https://doi.org/10.5946/ce.2015.48.6.476>
10. S. Shinozaki, H. Osawa, Y. Hayashi, A. K. Lefor, and H. Yamamoto, “Linked color imaging for the detection of early gastrointestinal neoplasms,” *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, vol. 12. SAGE Publications, p. 175628481988524, Jan. 2019. doi: 10.1177/1756284819885246. Available: <http://dx.doi.org/10.1177/1756284819885246>
11. Blue Laser Imaging, Blue Light Imaging, and Linked Color Imaging for the Detection and Characterization of Colorectal Tumors <https://www.gutnliver.org/journal/view.html?doi=10.5009/gnl18276>
12. K. Togashi et al., “Blue laser imaging endoscopy system for the early detection and characterization of colorectal lesions: a guide for the endoscopist,” *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, vol. 9, no. 1. SAGE Publications, pp. 50–56, Aug. 31, 2015. doi: 10.1177/1756283x15603614. Available: <http://dx.doi.org/10.1177/1756283x15603614>
13. Okada, M., Yoshida, N., Kashida, H., Hayashi, Y., Shinozaki, S., Yoshimoto, S., Fujinuma, T., Sakamoto, H., Sunada, K., Tomita, Y., Dohi, O., Inoue, K., Hirose, R., Itoh, Y., Komeda, Y., Sekai, I., Okai, N., Lefor, A.K. and Yamamoto, H. (2024), Comparison of blue laser imaging and light-emitting diode-blue light imaging for the characterization of colorectal polyps using the Japan narrow-band imaging expert team classification: The LASEREO and ELUXEO COLonoscopy study. *DEN Open*, 4: e245. <https://doi.org/10.1002/deo2.245>
14. V. Subramanian and K. Ragunath, “Advanced Endoscopic Imaging: A Review of Commercially Available Technologies,” *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, vol. 12, no. 3. Elsevier BV, pp. 368-376.e1, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.cgh.2013.06.015. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cgh.2013.06.015>.

*Надійшла до редакції 10.10.2023 р.*

**КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ** — кандидат техн. наук, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,  
*e-mail: kvantron@gmail.com*

**ПОУДАНСН ЮРІЙ ЄВГЕНОВИЧ** — аспірант кафедри БМІОЕС, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця,  
*e-mail: mcpchip@gmail.com*

ANDRIY KOZHEMIAKO, YURIY POUDANIEN

**OPTICAL-DIGITAL NARROWBAND METHODS FOR REGISTRATION AND IMPROVEMENT  
OF BIOMEDICAL IMAGES DURING ENDOSCOPY**

Vinnitsia National Technical University