

С. М. Кватернюк<sup>1</sup>

## МЕТОД ТА ЗАСОБИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Вдосконалено метод та розроблено засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ. Метод полягає у вимірюванні мультиспектральних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за умов дифузного освітлення вузькосмуговими джерелами випромінювання з відомими спектральними характеристиками та аналізі отриманих мультиспектральних зображень з опосередкованим визначенням біофізичних і структурних параметрів. Засоби дозволяють здійснювати мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль стану неоднорідних біологічних середовищ на основі їх біофізичних і структурних параметрів.*

**Ключові слова:** мультиспектральний контроль, неоднорідні біологічні середовища, засіб контролю, телевізійний вимірювальний контроль, спектральні характеристики.

### Вступ

Телевізійний вимірювальний контроль стану неоднорідних біологічних середовищ може здійснюватись на основі обробки масивів мультиспектральних зображень об'єкта отриманих ПЗЗ камерою на характеристичних довжинах хвиль. Робота продовжує науковий напрямок науково-дослідної лабораторії спектрофотометрії природних середовищ ВНТУ у дослідженні методів та засобів телевізійного контролю параметрів неоднорідних біологічних середовищ. На основі статистичної обробки спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбиття можливо визначити відмінності для об'єктів контролю, що перебувають у придатному чи непридатному стані у випадку прикладних задач контролю якості продукції чи контролю забруднення. Відмінність у коефіцієнті дифузного відбиття, вимірюваному на певній довжині хвилі з визначеним значенням діапазону довжин хвиль для вимірювального каналу дозволяє відрізнити придатний об'єкт від непридатного.

*Мета роботи* — підвищення достовірності контролю стану неоднорідних біологічних середовищ шляхом вдосконалення методу мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та розроблення відповідних засобів.

### Аналіз сучасних методів та засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ

Мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль займає важливе місце у розв'язанні прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичних досліджень та контролю якості продукції. Проте, на сьогодні вони розвинуті недостатньо і потребують продовження досліджень з метою підвищення швидкодії та вірогідності контролю. У роботі [1] запропоновано пристрій для телевізійного вимірювального контролю та діагностики параметрів кольору неоднорідних середовищ, що дозволяє визначити координати кольору елементів зображення досліджуваного об'єкта у системі координат CIEXYZ та CIELAB за умови дифузного освітлення з подальшим визначенням найближчих кольорів зі шкали зразків кольорів та визначення параметрів об'єкта з використанням експертної системи. Запропоновано спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону за допомогою проточного мультиспектрального телевізійного вимірювального аналізатора частинок неперервної дії, в якому порівнюють зображення частинок на характеристичних довжинах хвиль пігментів за допомогою ПЗЗ-камери із зображеннями з бази даних у режимі реального часу, визначають чисельність частинок фітопланктону та розраховують індекси біорізноманіття [2]. Розроблено автоматизований метод та засіб контролю стану біотканин за їх спектрофотометричними параметрами, суть якого полягає у неінвазійному вимірюванні спектральних коефіцієнтів дифузного відбивання

об'єктів контролю і порівнянні їх з нормою та використанні отриманих результатів, як вхідного параметра експертної системи [3].

У роботі [4] використано мультиспектральний метод з електрично переналаштовувальним світлофільтром та спеціалізованим мікроскопом для дослідження просторового розподілу певних біохімічних сполук з високою роздільною здатністю. У роботі [5] мультиспектральний метод використано для швидкого неруйнівного контролю якості і автоматичної ідентифікації сорту томатів, які відрізняються лише наявністю певних біохімічних маркерів. У роботі [6] мультиспектральний метод використано для аналізу гістологічних зразків, що дозволило підвищити ефективність інвазійної діагностики онкопухлин у порівнянні з традиційним методом на основі змін кольору патологічних ділянок під впливом гістологічних барвників. У роботі [7] мультиспектральний метод використано для дослідження зображень біотканин у відбитому випромінюванні та флюоресценції. Використано набори змінних фільтрів для ПЗЗ-камери та джерела випромінювання для роботи у видимому і ближньому ІЧ діапазоні. Оскільки випромінювання з більшою довжиною хвилі проникає глибше у біотканину, то обробка масиву мультиспектральних зображень дозволяє відновити об'ємне зображення приповерхневої пухлини. У роботі [8] мультиспектральний метод використано для дослідження судин у приповерхневому шарі шкіри. При цьому у якості фільтрів використовуються чотири змінних фільтри на основі періодичної наноструктури на золотій плівці з отворами, відстань між якими визначає довжину хвилі випромінювання, на якій коефіцієнт пропускання найбільший. Такий спосіб виконання фільтрів є найбільш високотехнологічним і дозволяє виготовити необхідний набір світлофільтрів з точно визначеними смугами пропускання. У роботі [9] мультиспектральний метод використовується для дистанційного супутникового екологічного контролю вмісту фітопланктону у водних об'єктах, що дозволило аналізувати просторовий розподіл концентрації фітопланктону у водних об'єктах з високою роздільною здатністю. У роботі [10] мультиспектральний метод використовується для дистанційного зондування та екологічного моніторингу лісів на основі багатохвильового лідара, що під час сканування поверхні лазером формує масив мультиспектральних зображень. У роботі [11] запропоновано алгоритми обробки мультиспектральних зображень, що дозволяють підвищити роздільну здатність та з більшою точністю визначати просторовий розподіл певних пігментів у неоднорідних середовищах.

### **Метод та структурні схеми засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ**

Біофізичні та структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ різного походження впливають на їх спектральні характеристики, зокрема, на коефіцієнт дифузного відбиття. Розроблено низку математичних моделей, що дозволяють отримати спектральні характеристики багат шарових неоднорідних оптичних середовищ, які можна поділити на певну кількість макроскопічно однорідних шарів з відомими оптичними параметрами. В результаті можливо пов'язати зміни у спектральних характеристиках коефіцієнта дифузного відбиття неоднорідних біологічних середовищ та шукані біофізичні та структурні параметри. Такий підхід можна використати до значної кількості різноманітних неоднорідних біологічних середовищ під час розв'язання прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичних досліджень та контролю якості продукції. Наведемо приклад відновлення біофізичних параметрів приповерхневого шару шкіри людини у випадку: патології внаслідок поверхневої механічної травми зі зростанням кровонаповнення від 20 до 50 % (а) та нормального стану інтактної (неушкодженої) шкіри із зміною об'ємного вмісту меланіну від 0,5 до 3 % в межах норми (б). У цих випадках необхідно на основі спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбиття ( $R_d(\lambda_i)$ ) розрахувати біофізичні параметри кровонаповнення ( $f_{blood}$ ) та об'ємного вмісту меланіну ( $f_{mel}$ ), що дозволить оцінити стан досліджуваних об'єктів. Спектральні характеристики коефіцієнта дифузного відбиття отримані за методикою [12—16] показані рис. 1.

Метод мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження полягає в тому, що аналізуються цифрові зображення об'єкта, отримані у відповідних спектральних діапазонах. Причому це може бути реалізовано двома способами:

— використанням одного ширококутового джерела випромінювання та ширококутової ПЗЗ-камери з вузькосмуговими фільтрами на вході камери;

— використанням однієї ширококутової ПЗЗ-камери за освітлення об'єкта вузькосмуговими джерелами випромінювання на  $n$  довжинах хвиль у відповідних спектральних діапазонах.

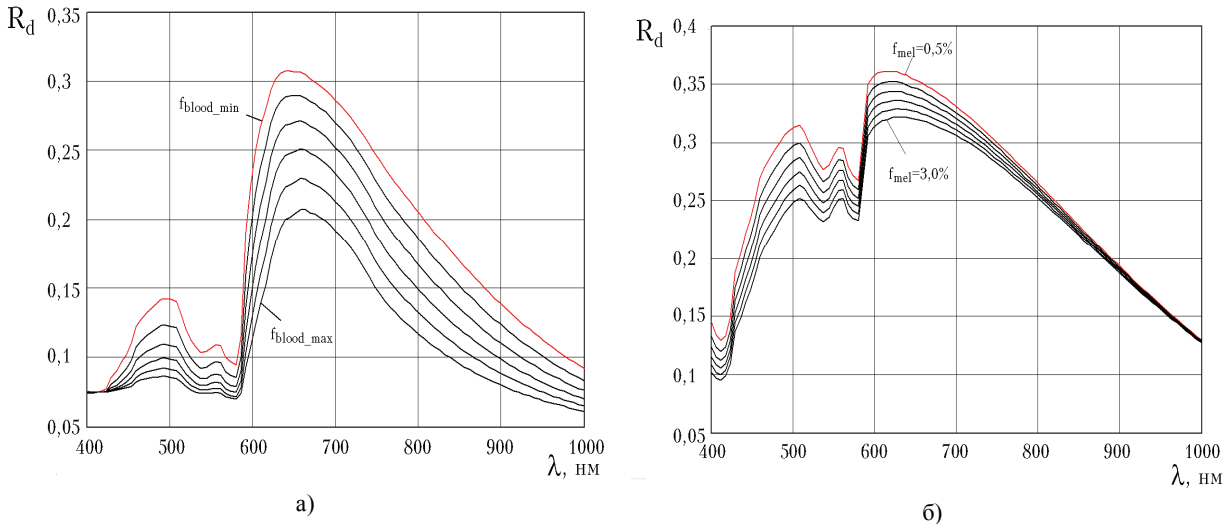


Рис. 1. Спектральні характеристики коефіцієнта дифузного відбиття: а — патологічної ділянки шкіри зі зміною кровонаповнення  $f_{blood}$ ; б — нормальної ділянки шкіри зі зміною об'ємної концентрації меланіну  $f_{mel}$

У випадку використання широкопasmового джерела випромінювання із спектральною щільністю потоку випромінювання  $P(\lambda_i)$  та набором світлофільтрів, які формують спектральні характеристики пропускання кожного з каналів до входу ПЗЗ-камери  $s_j(\lambda_i)$  система рівнянь для визначення координат у мультиспектральному  $n$ -вимірному просторі:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P(\lambda_i) s_1(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ M_2 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P(\lambda_i) s_2(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ \dots \\ M_n = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P(\lambda_i) s_n(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda. \end{array} \right. \quad (1)$$

За умови послідовного (почергового) освітлення об'єкта дослідження вузькосмуговими джерелами випромінювання на  $n$  довжинах хвиль та використанні однієї широкопasmової ПЗЗ-камери система рівнянь для визначення координат у мультиспектральному  $n$ -вимірному просторі

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_1(\lambda_i) s(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ M_2 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_2(\lambda_i) s(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ \dots \\ M_n = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_n(\lambda_i) s(\lambda_i) R_d(\lambda_i) \Delta\lambda. \end{array} \right. \quad (2)$$

Структурну схему засобу мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження неоднорідних біологічних середовищ за першим способом реалізації з використанням одного широкопasmового джерела випромінювання та широкопasmової ПЗЗ-камери з вузькосмуговими фільтрами на вході камери показано на рис. 2а, а за другим способом реалізації з використанням однієї широкопasmової ПЗЗ-камери та освітленням об'єкта вузькосмуговими джерелами випромінювання на  $n$  довжинах хвиль у відповідних спектральних діапазонах на рис. 2б.

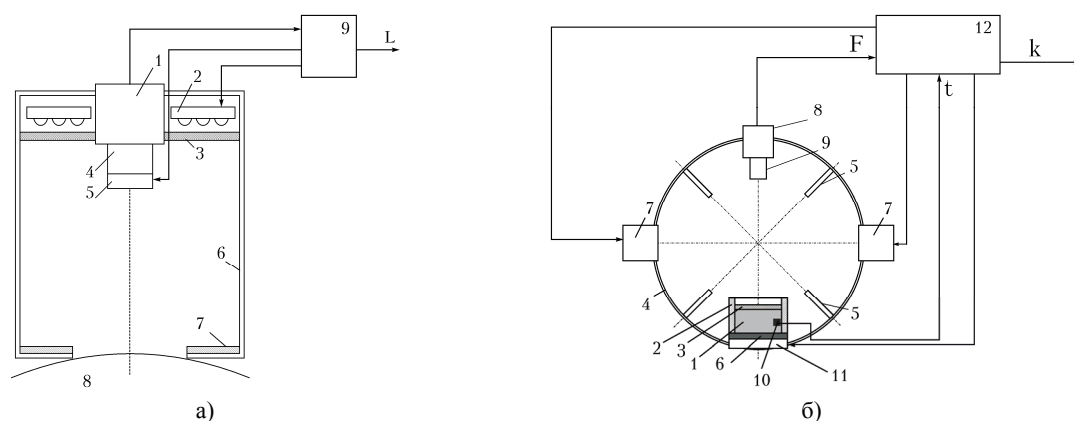


Рис. 2. Варіанти реалізації засобу мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження неоднорідних біологічних середовищ: а — вузькосмугові фільтри на вході ПЗЗ-камери; б — вузькосмугові джерела випромінювання

Засіб мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження неоднорідних біологічних середовищ працює таким чином. Біологічне середовище, що є об'єктом дослідження 8, розміщується в центрі робочого отвору циліндру 6. Джерело випромінювання 2 рівномірно освітлює об'єкт дослідження 3 за допомогою кільцевого дифузного розсіювача 3. ПЗЗ-камера 1 формує мультиспектральні зображення об'єкта дослідження і передає їх до апаратно-програмного блоку керування та обробки мультиспектральних зображень 9. Зображення на різних довжинах хвиль формують за допомогою однієї широкосмугової ПЗЗ-камери 1 та перестроюваного оптичного фільтра 5, що керується з апаратно-програмного блоку керування та обробки мультиспектральних зображень 9. Об'єкти камери 4 формує зображення об'єкта дослідження 8 та шкали 7 на вході ПЗЗ-камери 1. У апаратно-програмному блоці керування та обробки мультиспектральних зображень, відбувається аналіз мультиспектральних зображень поверхневих пошкодження шкіри людини.

За другим способом реалізації засіб мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження неоднорідних біологічних середовищ, показаний на рис. 2б, працює таким чином. Пристрій містить досліджуване біологічне середовище 1 у кварцовій кюветі 2, плаваючий шар тест-об'єкта 3, інтегровальну сферу 4, вкриту дифузно відбиваючим покриттям на основі сульфату барію, екрани 5 та підкладку 6 з покриттям ідентичним до інтегровальної сфери, джерела випромінювання 7, телевізійну CCD-камеру 8, об'єкти 9, давач температури 10, нагрівальний елемент 11, апаратно-програмний блок керування та обробки мультиспектральних зображень 12. Світлодіодні джерела випромінювання 7 забезпечують рівень освітленості достатній для нормальної роботи засобу. Об'єкт дослідження освітлюється дифузно розсіяним світлом, відбитим від стінок інтегровальної сфери 4. Давач температури 10 та нагрівальний елемент 11 призначені для підтримки оптимальної температури у кюветі. Екрани 5 запобігають прямому потраплянню світла від світлодіодних джерел випромінювання 7 на камеру чи кювету.

### Дослідження роботи засобу мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ

Використаємо спосіб реалізації методу мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження із застосуванням вузькосмугових світлодіодних джерел випромінювання (рис.2б). Засіб містить світлодіодні джерела випромінювання; кільцевий дифузний розсіювач; ПЗЗ-камеру, вісь якої розміщена по нормалі з поверхнею об'єкта дослідження; об'єкти камери налаштований на незмінну фокусну відстань до об'єкта дослідження, що забезпечують за допомогою інтегровальної сфери. У робочому отворі інтегровальної сфери розміщено досліджуваний об'єкт. На виході ПЗЗ-камеру під'єднано до апаратно-програмного блоку керування та обробки мультиспектральних зображень, що розраховує біофізичні та структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ.

У засобі мультиспектрального телевізійного вимірювального дослідження використано камеру типу MDC140BW з такими основними параметрами [17]: фотоматриця Sony ICX285AL, розмір сенсора 2/3", діагональ 11,14 мм, розділова здатність 1360×1024 (1,3 Mpixels), спектральний діапазон 350...1000 нм, динамічний діапазон 66 дБ. Спектральна характеристика чутливості ПЗЗ-камери MDC140BW показана на рис. За У світлодіодному джерелі випромінювання використовуємо світлодіоди, основні параметри яких наведені у табл. 1, а нормовані спектральні характеристики показані на рис. 3б [18—20].

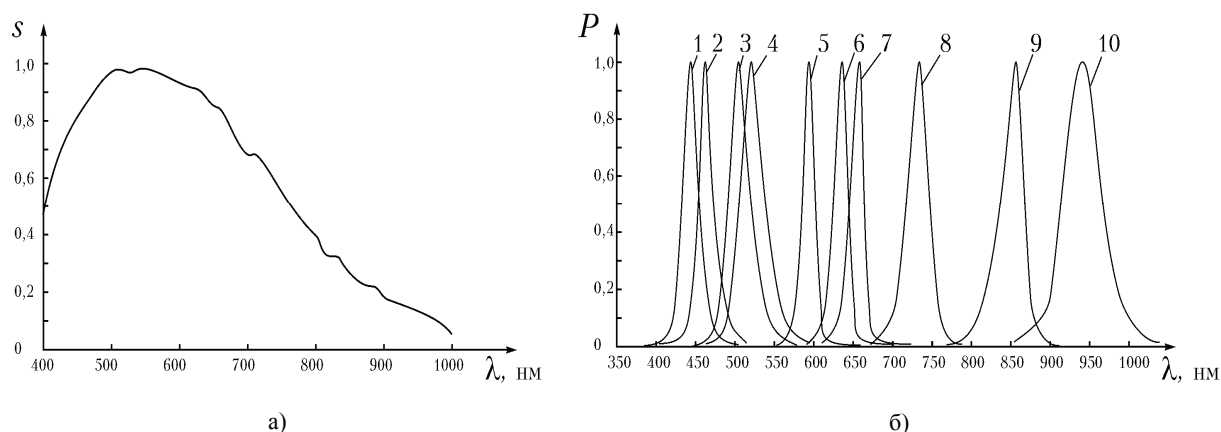
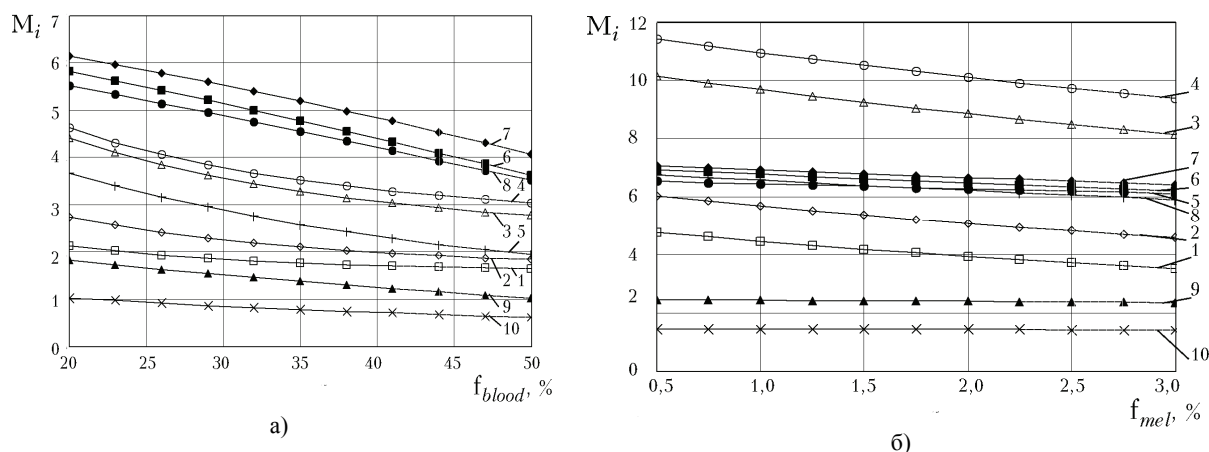


Рис. 3. Нормовані спектральні характеристики: а — чутливості ПЗЗ-камери MDC140BW; б — світлодіодів

## Основні параметри світлодіодних джерел випромінювання

№	Тип	Виробник	Домінуюча довжина хвилі, нм	Колір	Ширина смуги на рівні 0,5, нм
1	PM2B-1LDE	ProLight	455	Royal Blue	20
2	PM2B-1LBE	ProLight	465	Blue	20
3	PM2B-1LCE	ProLight	505	Cyan	30
4	PM2B-1LGE	ProLight	525	Green	30
5	PM2B-1LAE	ProLight	592	Amber	20
6	PM2B-1LRE	ProLight	623	Red	20
7	PM2B-1LME	ProLight	660	Crimson	20
8	PM2B-1LEE	ProLight	730	Cherry Red	30
9	SFH 4235	OSRAM	850	IR	30
10	TSAL4400	Vishay	940	IR	50

Після підстановки у рівняння (2) отриманих нормованих спектральних характеристик чутливості ПЗЗ-камери MDC140BW та світлодіодів розраховано залежності ненормованих мультиспектральних параметрів від біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ на прикладі шкіри людини: а) патологічної ділянки шкіри зі зміною кровонаповнення  $f_{blood}$ ; б) нормальної ділянки шкіри зі зміною об'ємної концентрації меланіну  $f_{mel}$  (рис. 4).

Рис. 4. Залежності ненормованих мультиспектральних параметрів від біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ на прикладі шкіри людини: а — патологічної ділянки шкіри зі зміною кровонаповнення  $f_{blood}$ ; б — нормальної ділянки шкіри зі зміною об'ємної концентрації меланіну  $f_{mel}$ 

Далі отримані залежності мультиспектральних параметрів від біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ були нормовані відносно максимального значення кожного з параметрів (рис. 5).

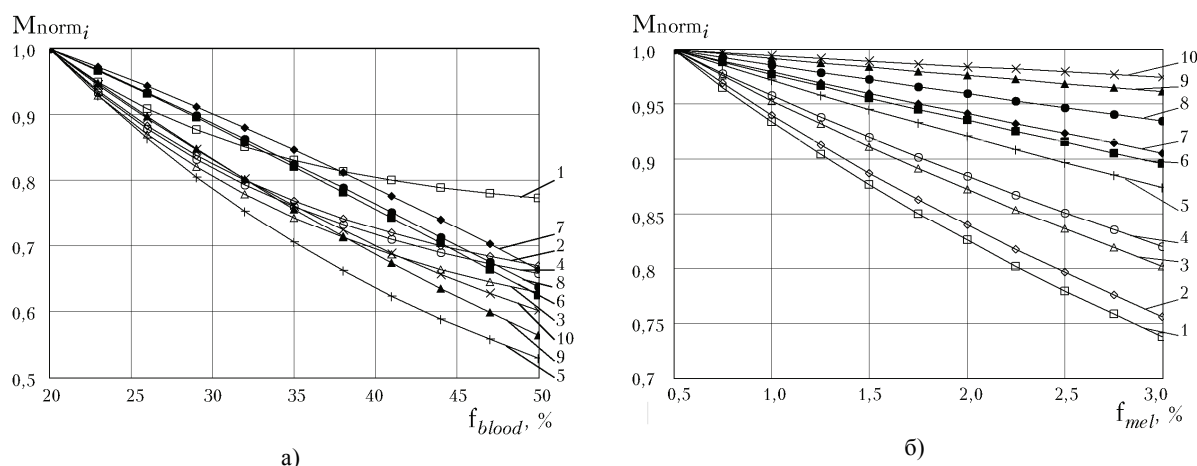


Рис. 5. Залежності нормованих мультиспектральних параметрів від біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ на прикладі шкіри людини: а — патологічної ділянки шкіри зі зміною кровонаповнення  $f_{blood}$ ; б — нормальної ділянки шкіри зі зміною об'ємної концентрації меланіну  $f_{mel}$

Для розв'язання оберненої оптичної задачі визначення біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ необхідно скласти регресійне рівняння [21]. За використання множинної регресії, десяти мультиспектральних параметрів та поліномів третього порядку регресійне рівняння матиме такий вигляд:

$$f_x = a_0 + b_{1,1}M_1 + \dots + b_{1,10}M_{10} + b_{2,1}M_1^2 + \dots + b_{2,10}M_{10}^2 + b_{3,1}M_1^3 + \dots + b_{3,10}M_{10}^3. \quad (3)$$

Для  $n$  мультиспектральних параметрів та поліномів  $k$ -го порядку регресійне рівняння матиме такий вигляд:

$$f_x = a_0 + \sum_{i=1}^n (b_{1,i}M_i + b_{2,i}M_i^2 + b_{3,i}M_i^3 + \dots + b_{k,i}M_i^k). \quad (4)$$

Загальна кількість коефіцієнтів регресійного рівняння буде  $(k \cdot n + 1)$ . Таким чином, за використання поліномів третього порядку та десяти мультиспектральних параметрів кількість коефіцієнтів регресійного рівняння буде 31. Розрахунок такої кількості регресійних коефіцієнтів вимагає досить великих обчислювальних зусиль. Крім того, використання у подальшому отриманого регресійного рівняння для розрахунку біофізичних параметрів у кожному пікселі мультиспектрального зображення вимагатиме великих витрат часу. Тому слід зменшити як ступінь поліномів, так і кількість мультиспектральних параметрів до досягнення прийнятної точності відновлення біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ.

## Висновки

Удосконалено метод та розроблено засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ. Метод полягає у вимірюванні мультиспектральних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за умов дифузного освітлення джерелами випромінювання з відомими спектральними характеристиками, аналізі отриманих мультиспектральних зображень та опосередкованому визначенні відповідних біофізичних та структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за допомогою множинної регресії. Розроблені засоби дозволяють здійснювати мультиспектральний телевізійний вимірювальний контроль біофізичних та структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ під час розв'язання прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичних досліджень та контролю якості продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент № 99579 МПК (2006) G01N 21/21 Україна. Пристрій для телевізійного вимірювального контролю та діагностики параметрів кольору неоднорідних середовищ / [Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є. та ін.] ; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 10.06.2015 ; Бюл. № 11. — 5 с.
2. Патент № 99580 МПК (2006) G01N 21/21 Україна. Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О. Є., Петрук Р. В. ; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 10.06.2015 ; Бюл. № 11. — 5 с.

3. Контрольно-вимірвальна система для дослідження оптичних параметрів біотканин / В. Г. Петрук, Г. О. Черноволік, С. М. Кватернюк [та ін.] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2006. — № 5. — С. 18—21.
4. Huang T. Multicolored nanometre-resolution mapping of single protein—ligand binding complexes using far-field photostable optical nanoscopy (PHOTON) / T. Huang, X.-H. N. Xu // *Nanoscale*. — 2011. — № 3. — P. 3567—3572.
5. Use of Multispectral Imaging in Varietal Identification of Tomato / [S. Shrestha, L. C. Deleuran, M. H. Olesen et al.] // *Sensors*. — 2015. — Vol. 15. — № 2. — P. 4496—4512.
6. Classification of Histology Sections via Multispectral Convolutional Sparse Coding / [Y. Zhou, H. Chang, K. Barner et al.] // *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. — 2014. — P. 3081—3088.
7. Serial sectioning and multispectral imaging system for versatile biomedical applications / [Symvoulidis P., Cruz Perez C., Schwaiger M. et al.] // *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging, ISBI, 29 April — 2 May 2014, Beijing, China*. — P. 890—893.
8. Bolus tracking with nanofilter-based multispectral videography for capturing microvasculature hemodynamics / [M. Najiminaini, B. Kaminska, K. St. Lawrence et al.] // *Scientific reports*. — 2014. — № 4. — P. 4737.
9. Application of hyperspectral remote sensing to cyanobacterial blooms in inland waters / [R. M. Kudela, S. L. Palacios, D. C. Austerberry et al.] // *Remote Sensing of Environment*. — 2015. — № 2. — P. 1—10.
10. Improving Backscatter Intensity Calibration for Multispectral LiDAR / [S. Shi, S. Song, W. Gong et al.] // *Geoscience and Remote Sensing Letters*; IEEE. — 2015. — Vol. 12, № 7. — P. 1421—1425.
11. Multispectral image enhancement based on fusion and super-resolution / V. Starovoitov, A. Makarau, I. Zakharov et al.] // *15th European Signal Processing Conference, Poznan, Poland, September 3—7, 2007*. — P. 2174 — 2178.
12. Пушкарева А. Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани : учеб. пос. / А. Е. Пушкарева. — СПб : СПбГУ ИТМО, 2008. — 103 с.
13. Моделювання спектральних характеристик шару епідермісу біотканини шкіри як об'єкта біомедичної діагностики / [В. Г. Петрук, О. С. Кватернюк, Ю. С. Любчак та ін.] // *Вісник ХНУ*. — 2015. — № 2. — С. 218—222. — *Технічні науки*.
14. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / [В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. С. Кватернюк та ін.] // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. — 2015. — № 3. — С. 50—56. — ISSN 1997-9266.
15. Spectrophotometric Method for Differentiation of Human Skin Melanoma. II. Diagnostic Characteristics / V. G. Petruk, A. P. Ivanov, S. M. Kvaternyuk, V. V. Barun // *Journal of Applied Spectroscopy*. — 2016. — Vol. 83, Issue 2. — P. 261—270.
16. Spectrophotometric Method for Differentiation of Human Skin Melanoma. I. Optical Diffuse Reflection Coefficient / V. G. Petruk, A. P. Ivanov, S. M. Kvaternyuk, V. V. Barun // *Journal of Applied Spectroscopy*. — 2016. — Vol. 83, Issue 1. — P. 85—92.
17. Scope Tek Product Manual. / SCOPETEK. [Electronic resource]. — 2015. — 116 p. — Access mode: <http://scopetek.com/CameraDevices/faq/STProduct.pdf>.
18. ProLight PM2B-1LxE 1W Power LED Technical Datasheet [Electronic resource]. — Access mode: <http://www.micropik.com/PDF/PM2B-1Lxx-Rx.pdf>.
19. IR-Lumineszenzdiode (850 nm) mit hoher Ausgangsleistung High Power Infrared Emitter (850 nm). SFH 4235 Technical Datasheet. [Electronic resource]. — Access mode: [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00221909\\_0.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic3/00221909_0.pdf).
20. High Power Infrared Emitting Diode, 940 nm, GaAlAs/GaAs TSAL4400. Technical Datasheet [Electronic resource]. — Access mode: <http://www.vishay.com/doc?81006>.
21. Математичне моделювання зміни координат кольору поверхневих пошкоджень біотканин для цифрової колориметрії / [О. С. Кватернюк, С. М. Кватернюк, В. Г. Петрук та ін.] // *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. — 2016. — № 3. — С. 135—139.

Рекомендована екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.02.2017

**Кватернюк Сергій Михайлович** — докторант, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри екології і екологічної безпеки, e-mail: [serg.kvaternuk@gmail.com](mailto:serg.kvaternuk@gmail.com).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**S. M. Kvaterniuk<sup>1</sup>**

## **Method and Means of Television Multispectral Measurement Control of State of Inhomogeneous Biological Mediums**

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The method has been improved and facilities of multispectral television measuring control of the state of heterogeneous biological environments have been developed in the paper. The method consists in measuring of multispectral parameters of heterogeneous biological environments in the conditions of diffuse illumination narrow-band radiants with well-known*

*spectral descriptions and analysis of the got multispectral images with indirect determination of biophysical and structural parameters. Facilities allow carrying out multispectral television measuring control of the state of heterogeneous biological environments on the basis of their biophysical and structural parameters.*

**Keywords:** multispectral control, heterogeneous biological environment, control means, TV measurement control, spectral characteristics.

*Kvaterniuk Serhii M.* — Doctoral Student, Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Ecology and Ecological Safety, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com .

С. М. Кватернюк<sup>1</sup>

## МЕТОД И СРЕДСТВА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*Усовершенствован метод и разработаны средства мультиспектрального телевизионного измерительного контроля состояния неоднородных биологических сред. Метод заключается в измерении мультиспектральных параметров неоднородных биологических сред в условиях диффузного освещения узкополосными источниками излучения с известными спектральными характеристиками и анализе полученных мультиспектральных изображений с косвенным определением биофизических и структурных параметров. Средства позволяют осуществлять мультиспектральный телевизионный измерительный контроль состояния неоднородных биологических сред на основе их биофизических и структурных параметров.*

**Ключевые слова:** мультиспектральный контроль, неоднородные биологические среды, средства контроля, телевизионный измерительный контроль, спектральные характеристики.

*Кватернюк Сергей Михайлович* — докторант, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологии и экологической безопасности, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com .