



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124253** (13) **U**
(51) МПК
G01N 21/25 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 11352	(72) Винахідник(и): Кватернюк Сергій Михайлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.11.2017	(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.03.2018	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.03.2018, Бюл.№ 6	

(54) СПОСІБ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ БІОФІЗИЧНИХ І СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

(57) Реферат:

Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ включає біофізичні дослідження неоднорідних біологічних середовищ, аналіз їх мультиспектральних зображень, отриманих за допомогою дифузного освітлювача, об'єктиву, перестроюваного фільтра та ПЗЗ-камери, аналіз мультиспектральних зображень за допомогою блока керування та обробки зображень, встановлення біофізичних і структурних параметрів шляхом верифікації отриманих показників з результатами мультиспектральних вимірювань модельних (еталонних) неоднорідних біологічних середовищ з відомими параметрами. За допомогою блока керування та обробки зображень здійснюють покрокову множинну регресію для оптимального вибору довжин хвиль і спектральних діапазонів для роботи дифузного освітлювача та перестроюваного фільтра і опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань.

UA 124253 U

Корисна модель належить до галузі оптичного приладобудування, а саме до оптико-фізичних вимірювань параметрів неоднорідних біологічних середовищ, та може бути використана для прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичної діагностики та контролю якості продукції.

5 Відомо спосіб оцінки площинного розподілу вологості верхнього шару відкритого ґрунту за даними багатоспектральної космічної зйомки високої розрізненності, за яким отримують багатоспектральне космічне зображення високої розрізненності об'єкта, суміщують зображення з топографічною картою, який відрізняється тим, що застосовують знімки з просторовою розрізненністю не гірше 30 м, у спектральному діапазоні зеленого (GR) із довжинами хвиль 500-10 590 нм та середнього інфрачервоного (SWIR) із довжинами хвиль 1600-1750 нм випромінювання, за значеннями даних зйомки у цих спектральних діапазонах розраховують нормалізований водний індекс NWI, який корелюють з даними наземного вибіркового опробування вологості верхнього шару ґрунту W (%) на глибині до 10 см, отримують регресійну залежність NWI-W (%), розраховують в кожному пікселі зображення значення вологості та 15 будують карту розподілу вологості на досліджуваному фрагменті території (Патент України № 92970, G01V 9/00, 2010).

Недоліком способу є низька точність вимірювання за рахунок малої кількості спектральних каналів та їх великої ширини. Спектральні характеристики джерел випромінювання та 20 фотоприймачів при цьому не узгоджені із спектральними характеристиками дифузного відбивання об'єкта, що не дозволяє забезпечити достатньою малу похибку вимірювань необхідну для розв'язання прикладних задач екологічного моніторингу.

Найбільш близьким є спосіб визначення дистанції пострілу на основі мультиспектрального дослідження вогнепальних пошкоджень шкіри людини, що включає біофізичні дослідження біологічної тканини та встановлення дистанції пострілу шляхом верифікації отриманих 25 показників з еталонними ідентифікаторами. При цьому здійснюють аналіз мультиспектральних зображень вогнепального пошкодження шкіри людини в областях 0-3 см, 3-6 см та 6-12 см довкола його центру отриманих за допомогою ПЗЗ-камери та перестроюваного оптичного фільтра; з використанням апаратно-програмного блока керування та обробки мультиспектральних зображень для кожної з цих областей визначають відносні розміри зон з 30 чистою неушкодженою поверхнею шкіри; із шкірою, ушкодженою внаслідок дії вогнепальної зброї та неушкодженою поверхнею із слідами пороху; за допомогою експертної системи на основі відносних розмірів цих зон визначають дистанцію пострілу з вогнепальної зброї (Патент України № 117337, G01N 21/25, G01N 33/48, 2017, "Спосіб визначення дистанції пострілу на основі мультиспектрального дослідження вогнепальних пошкоджень шкіри людини").

35 Недоліком способу є вузькі функціональні можливості за рахунок його спрямованості на вирішення вузькоспеціалізованої задачі визначення одного параметра - дистанції пострілу для судово-медичної експертизи.

При цьому спектральні характеристики ПЗЗ-камери та перестроюваного оптичного фільтра також не узгоджені із спектральними характеристиками пошкодженої об'єкта дослідження, що 40 впливає на точність вимірювання.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності розширено функціональні можливості та підвищено точність вимірювання і швидкодію роботи.

45 Поставлена задача вирішується тим, що спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, що включає біофізичні дослідження неоднорідних біологічних середовищ, аналіз їх мультиспектральних зображень, отриманих за допомогою дифузного освітлювача, об'єктива, перестроюваного фільтра та ПЗЗ-камери, аналіз мультиспектральних зображень за допомогою 50 блока керування та обробки зображень, встановлення біофізичних і структурних параметрів шляхом верифікації отриманих показників з результатами мультиспектральних вимірювань модельних (еталонних) неоднорідних біологічних середовищ з відомими параметрами, доповнено тим, що за допомогою блока керування та обробки зображень здійснюють покрокову множинну регресію для оптимального вибору довжин хвиль і спектральних діапазонів для 55 роботи дифузного освітлювача та перестроюваного фільтра і опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань.

60 Суть корисної моделі пояснюється кресленнями де на фіг. 1 представлено структурну схему пристрою, що реалізує спосіб; на фіг. 2 представлено загальну схему математичної моделі

опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами; на фіг. 3 представлено загальну схему математичної моделі для прямої задачі розрахунку мультиспектральних параметрів неоднорідного біологічного середовища; на фіг. 4 показано спектральні характеристики при зміні об'ємного вмісту меланіну; на фіг. 5 показано спектральні характеристики при зміні оксигенації крові у визначеному інтервалі із заданим кроком; на фіг.6 показано результати розрахунку мультиспектральних параметрів за відомими спектральними характеристиками при зміні об'ємної концентрації меланіну.

Пристрій містить кільцевий дифузний освітлювач 1, що слугує для освітлення зразку неоднорідного біологічного середовища, який позначено позицією 6. Також до досліджуваного зразка неоднорідного біологічного середовища 6 оптично під'єднано додатковий дифузний відбивач 7. ПЗЗ-камера 2 оптично з'єднана з об'єктивом 3, який з'єднано з перестроюваним фільтром 4. Крім цього ПЗЗ-камера 2 підключена до блока керування та обробки зображень 5.

За умови необхідності дослідження тонкого шару неоднорідного біологічного середовища, що містить розсіювальні частинки різної форми та розмірів, використовують додатковий дифузний відбивач 7. Модель тонкого шару неоднорідного біологічного середовища може використовуватись при екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in vitro*, біомедичній діагностиці гуморальних середовищ в умовах *in vitro*, контролі якості дисперсних рідин у проточних кюветках тощо.

При дослідженні напівнескінченого неоднорідного біологічного середовища додатковий дифузний відбивач 7 не використовують. Модель напівнескінченого макроскопічно однорідного біологічного середовища зручно використовувати для водних середовищ з завислими частинками різного походження, наприклад, при екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in situ*, контролі якості молокопродуктів тощо.

Для мультиспектрального телевізійного контролю біофізичних і структурних параметрів багат шарових неоднорідних біологічних середовищ ПЗЗ-камера 2, об'єктив 3 та перестроюваний фільтр 4 пристрою можуть знаходитись всередині середовища і фіксувати мультиспектральні зображення, що створюються оптичним випромінюванням у кожному з шарів. При цьому вони можуть обертатись у трьох ступенях свободи, що дозволить фіксувати, як висхідне так і низхідне розсіяне випромінювання. Модель багат шарового неоднорідного біологічного середовища є найбільш універсальною і може використовуватись для багатьох задач, зокрема екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону в умовах *in situ*, екологічному моніторингу водних об'єктів з використанням біоіндикації по макрофітам в умовах *in situ* та *in vitro*, неінвазивній біомедичній діагностиці нормальних і патологічних тканин шкіри людини в умовах *in vivo* та *in vitro*, біомедичній діагностиці різних гуморальних рідин, контролі якості різноманітних харчових продуктів тощо.

Спосіб здійснюється таким чином.

1. За допомогою кільцевого дифузного освітлювача 1, об'єктива 3, перестроюваного фільтра 4 та ПЗЗ-камери 2 формують масив мультиспектральних зображень модельних (еталонних) неоднорідних біологічних середовищ з відомими біофізичними і структурними параметрами, що отримані у всіх спектральних діапазонах, які забезпечує пристрій. За допомогою блока керування та обробки зображень 5 здійснюють аналіз мультиспектральних зображень та виконують покрокову множинну регресію з метою відновлення біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, що дозволяє обрати довжини хвиль та спектральні діапазони у яких регресійні рівняння дозволять здійснити опосередковане вимірювання біофізичних і структурних параметрів з найменшою похибкою. Отримують регресійні рівняння, які пов'язують безпосередньо виміряні мультиспектральні параметри з біофізичними і структурними параметрами неоднорідних біологічних середовищ, які необхідно виміряти опосередковано.

2. За допомогою кільцевого дифузного освітлювача 1, об'єктива 3, перестроюваного фільтра 4 та ПЗЗ-камери 2 формують масив мультиспектральних зображень досліджуваних неоднорідних біологічних середовищ з невідомими біофізичними і структурними параметрами, що отримані на довжинах хвиль та спектральних діапазонах, визначених на етапі 2. За допомогою блока керування та обробки зображень 5 здійснюють аналіз мультиспектральних зображень досліджуваних неоднорідних біологічних середовищ та опосередковано вимірюють їх біофізичні і структурні параметри у кожному фрагменті зображення з використанням регресійних рівнянь, отриманих на етапі 1.

Для опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ за мультиспектральними параметрами (фіг.2) моделюють неоднорідне

біологічне середовище та розраховують мультиспектральні параметри у кожному пікселі зображення, тобто розв'язують пряму оптичну задачу. Далі з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ та мультиспектральні параметри відновлюють необхідні біофізичні чи структурні параметри

5 неоднорідних біологічних середовищ, тобто розв'язують обернену оптичну задачу. При вимірюванні мультиспектральних параметрів неоднорідних біологічних середовищ ця процедура відповідає опосередкованому вимірюванню біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ. При використанні конкретних ПЗЗ-камер, фільтрів, джерел випромінювання тощо оцінюють похибки вимірювання мультиспектральних параметрів

10 на основі технічних параметрів цих комплектуючих. Отримані похибки вносять у математичну модель опосередкованого вимірювання. Знаючи біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ, які використовувались, як вихідні дані на початку та порівнявши їх з біофізичними і структурними параметрами отриманими після відновлення за регресійними моделями оцінюють похибки опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів

15 неоднорідних біологічних середовищ. Проводячи багатократне імітаційне моделювання похибок опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ отримують закони їх розподілу та оцінюють достовірність контролю параметрів неоднорідних біологічних середовищ.

Вихідними даними для розрахунку є такі параметри кожного із шарів неоднорідного біологічного середовища, як концентрація хромофорів локалізованих у розсіювальних частинках C_{chr_i} та концентрація розчинених речовин, які розподілені рівномірно у об'ємі середовища C_{sol_j} . Спектральні характеристики хромофорів та розчинених речовин вводяться у математичну модель за довідниковими даними з використанням сплайн апроксимації. На основі цих даних розраховуємо оптичні характеристики кожного із шарів неоднорідного біологічного середовища та загальні оптичні характеристики для коефіцієнта дифузного відбивання $R(\lambda)$ чи

25 направлено пропускання $T(\lambda)$ з урахуванням впливу усіх шарів. На основі отриманого коефіцієнта дифузного відбивання чи направлено пропускання з урахуванням спектральних характеристик камери $E(\lambda)$, фільтрів $T_f(\lambda)$ та джерела випромінювання $\Phi(\lambda)$ за отримуємо мультиспектральні параметри $D(M_1, M_2, \dots, M_n)$ у кожному пікселі мультиспектрального зображення.

30

Аналіз мультиспектральних зображень на певних довжинах хвиль, отриманих після виконання покрокової множинної регресії для відновлення необхідних біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ та формування відповідних регресійних рівнянь, які пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань

35

Вибір оптимальних довжин хвиль для формування та аналізу мультиспектральних зображень здійснюється за допомогою множинної регресії для відновлення необхідних біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ та формування відповідних регресійних рівнянь, які пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань.

40

Вибір оптимальних довжин хвиль покажемо на прикладі нормальних та патологічних ділянок біотканин шкіри людини. У якості математичної моделі для розв'язання прямої оптичної задачі розрахунку спектральних характеристик неоднорідного біологічного середовища при відомих його біофізичних та структурних параметрах використаємо моделі з такими параметрами:

1. Нормальна інтактна шкіра людини: об'ємний вміст меланіну змінюється від 0,5 % до 3 % з кроком 0,0168 %; об'ємний вміст крові у шарах дерми 2 %; насиченість крові киснем 98 %; гематокрит 45 %; концентрація гемоглобіну 2,306 ммоль/л;

45

2. Патологічна ділянка шкіри людини зі зміною оксигенації від 60 % до 99 % з кроком 0,26 %, об'ємний вміст крові у шарах дерми 35 %; об'ємний вміст меланіну 1,8 %.

Для кожного з випадків отримано 150 спектральних характеристик коефіцієнта дифузного відбиття з роздільною здатністю 0,1 ім. Наприклад, на фіг. 4 показано спектральні характеристики при зміні об'ємного вміст меланіну, а на фіг. 5 при зміні оксигенації крові у визначеному інтервалі із заданим кроком.

50

Отримавши спектральні характеристики об'єкта дослідження, джерела випромінювання та ПЗЗ камери розрахуємо мультиспектральні параметри:

$$\begin{cases} M_1 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_1(\lambda_i) s(\lambda_i) R(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ M_2 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_2(\lambda_i) s(\lambda_i) R(\lambda_i) \Delta\lambda; \\ M_n = \sum_{i=1}^{i_{\max}} P_n(\lambda_i) s(\lambda_i) R(\lambda_i) \Delta\lambda; \end{cases}$$

де $R_j(\lambda_i)$ - спектральна характеристика джерела випромінювання, $s(\lambda_i)$ - спектральна характеристика чутливості ПЗЗ камери, $R(\lambda_i)$ - спектральна характеристика коефіцієнта дифузного відбиття об'єкта дослідження.

5 Мультиспектральні телевізійні вимірювання здійснюються опосередковано. Похибку вимірювання мультиспектральних параметрів прийmemo рівною 2 %, що відповідає використанню ПЗЗ камери з розрядністю 10 біт, співвідношенням сигнал-шум 66 дБ і роздільною здатністю 1,3 Мп. Приклад результатів розрахунку мультиспектральних параметрів за відомими спектральними характеристиками при зміні об'ємної концентрації меланіну наведено на фіг.6.

10 Розв'язання оберненої оптичної задачі для визначення біофізичних і структурних неоднорідного біологічного середовища за мультиспектральними параметрами можна провести за допомогою множинної регресії. Розглянемо окремий випадок, коли необхідно знайти один з невідомих біофізичних чи структурних параметрів середовища, якщо інші біофізичні та структурні параметри розподілені за нормальним законом розподілу з відомим середньоарифметичним значенням та середньоквадратичним відхиленням ($M \pm СКВ$).

15 Вихідними даними для виконання множинної регресії є таблиця, у якій у якості вихідної (залежної) змінної є один з біофізичних чи структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, що змінювався у певному діапазоні з заданим кроком у ході математичного моделювання спектральних характеристик (розв'язку прямої оптичної задачі), а незалежними змінними є мультиспектральні параметри, отримані на етапі моделювання мультиспектральних телевізійних вимірювань.

20 Приклад таблиці вихідних даних для визначення об'ємної концентрації меланіну в шкірі наведено у табл.1 за умови використання ПЗЗ камери типу MDC140BW та джерела випромінювання на основі лазерних діодів.

Таблиця 1

Приклад вихідних даних для опорядкованого вимірювання об'ємної концентрації меланіну за мультиспектральними параметрами з використанням множинної регресії

$F_{\text{mel}}, \%$	M_{405}	M_{450}	M_{488}	M_{515}	M_{520}	M_{530}	M_{638}	...	M_{980}
0,0050	0,1567	0,3781	0,5448	0,5443	0,5175	0,4556	0,6467	...	0,0830
0,0052	0,1535	0,3669	0,5507	0,5446	0,5131	0,4728	0,6488	...	0,0814
0,0053	0,1563	0,3808	0,5410	0,5440	0,5135	0,4666	0,6702	...	0,0828
0,0055	0,1482	0,3607	0,5364	0,5539	0,5231	0,4730	0,6716	...	0,0786
0,0057	0,1502	0,3615	0,5395	0,5135	0,5102	0,4571	0,6600	...	0,0850
0,0058	0,1496	0,3720	0,5418	0,5276	0,4971	0,4587	0,6694	...	0,0788
...
0,1505	0,1121	0,2802	0,4320	0,4494	0,4207	0,3891	0,5913	...	0,0784
0,0300	0,1098	0,2774	0,4065	0,4452	0,4056	0,3908	0,6104	...	0,0814

30 Множинну регресію виконуємо у програмі STATISTIC A 6.0. Загальне призначення множинної регресії полягає у аналізі зв'язку між декількома незалежними змінними та залежною змінною. При цьому ступінь залежності незалежних змінних і залежної змінної виражається за допомогою коефіцієнта множинної регресії R.

35 З використанням покрокової регресії проаналізуємо незалежні змінні (у даному випадку, мультиспектральні параметри), що дозволяють найбільш точно визначити залежні змінні - біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ. На початку необхідно визначити, які мультиспектральні параметри, що відповідають певним довжинам хвиль та спектральним діапазнам, дозволяють найбільш точно здійснювати непрямі (опосередковані)

вимірювання одного з біофізичних чи структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ. Для випадку, наведеного у табл. 1 за мультиспектральними параметрами визначається об'ємна концентрація меланіну.

5 Використаємо процедуру виконання множинної регресії з покроковим включенням незалежних змінних, що здійснює вибір незалежних змінних на кожному кроці, додаючи чи видаляючи їх з моделі, виходячи із заданого користувачем критерію. Прийmemo значення критерію Фішера F у програмі STATISTIC A 6.0 по замовчуванню, а саме незалежна змінна включається у модель, якщо $F > 1$, і виключається з моделі, якщо $F = 0$. Задаємо в програмі STATISTICA 6.0 відображення результатів множинної регресії на кожному кроці, а саме виведення критерію Фішера F , коефіцієнта детермінації R та стандартної похибки рівняння регресії Δ .

10 На основі даних табл. 1 програма виконала покрокову множинну регресію у 8 кроків поступово додаючи змінні зважаючи на їх внесок у точність визначення заданого параметра (у даному випадку об'ємної концентрації меланіну f_{mel}). Результати розрахунків на кожному кроці множинної регресії наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку множинної регресії для опорядкованого вимірювання об'ємної концентрації меланіну з покроковим додаванням змінних

N	λ , нм	F	Δ	R
1	450	2210,499	0,001832198	0,96811581
2	450; 488	1735,674	0,001479228	0,97947625
3	450; 488; 405	1501,809	0,001304660	0,98418077
4	450; 488; 405; 515	1424,171	0,001164183	0,98751121
5	450; 488; 405; 515; 830	1218,834	0,001126579	0,98839077
6	450; 488; 405; 515; 830; 530	1068,931	0,001098883	0,98903481
7	450; 488; 405; 515; 830; 530; 660	959,7527	0,001074286	0,98959644
8	450; 488; 405; 515; 830; 530; 660; 638	871,2122	0,001055199	0,99003572

20 Перевіримо незалежні змінні, які використовуються при виконанні регресії на наявність кореляційного зв'язку між собою, тобто здійснимо перевірку наявності мультиколінеарності (табл. 3).

Таблиця 3

Перевірка мультиколінеарності мультиспектральних параметрів для опорядкованого вимірювання об'ємної концентрації меланіну

	M_{405}	M_{450}	M_{488}	M_{515}	M_{530}	M_{638}	M_{660}	M_{830}
M_{405}	1,000000	0,953907	0,929987	0,908744	0,875725	0,791316	0,774044	0,511367
M_{450}	0,953907	1,000000	0,942450	0,925497	0,886978	0,796939	0,758432	0,494900
M_{488}	0,929987	0,942450	1,000000	0,923531	0,877584	0,803897	0,744765	0,486039
M_{515}	0,908744	0,925497	0,923531	1,000000	0,874725	0,808480	0,762579	0,489927
M_{530}	0,875725	0,886978	0,877584	0,874725	1,000000	0,731873	0,679933	0,504686
M_{638}	0,791316	0,796939	0,803897	0,808480	0,731873	1,000000	0,645976	0,476874
M_{660}	0,774044	0,758432	0,744765	0,762579	0,679933	0,645976	1,000000	0,418668
M_{830}	0,511367	0,494900	0,486039	0,489927	0,504686	0,476874	0,418668	1,000000

25 Оскільки між мультиспектральними параметрами M_{405} , M_{450} , M_{488} , M_{515} , M_{530} , M_{638} , M_{660} отримано коефіцієнт кореляції понад 0,7, тобто існує сильний кореляційний зв'язок, то виникає явище мультиколінеарності. Мультиколінеарність є загальною проблемою для багатьох методів кореляційного аналізу. Мультиколінеарність - це явище, що може виникнути при побудові множинної кореляційно-регресійної моделі при наявності лінійного взаємозв'язку між двома чи більше факторними ознаками. Наявність мультиколінеарності не дозволяє побудувати якісну регресійну модель, оскільки призводить до зміщення оцінок регресії між факторними ознаками, що робить неможливим визначення чіткого впливу різних факторів на результуючу ознаку. При цьому програма STATISTICA видає повідомлення про погану обумовленість матриці.

Мультиколінеарність не знижує якість прогнозованих значень показників, оскільки зростання кількості досліджуваних факторів підвищує значення коефіцієнта детермінації, а відповідно і точність прогнозу. Однак на визначення оцінок дійсних значень параметрів регресії мультиколінеарність впливає негативно та призводить до виникнення великих похибок. Якщо у аналіз включена велика кількість незалежних змінних, то виникнення проблеми мультиколінеарності може стати помітним не одразу, а вже після включення змінних у регресійне рівняння. У випадку коли ця проблема виникає, це означає, що хоча б одна із залежних змінних (предикаторів) є зайвою при наявності інших предикаторів. Програма STATISTIC A використовує декілька статистичних індикаторів такої надлишковості, зокрема, толерантність, а також деякі засоби для усунення надлишковості, наприклад, гребінчасту регресію. Для оцінювання отриманих рівнянь множинної регресії використовують аналіз залишків. Для усунення мультиколінеарності необхідне вилучення однієї чи декількох корельованих факторних ознак.

Таким чином, для усунення мультиколінеарності вилучимо змінні, між якими існує сильний кореляційний зв'язок і залишимо лише дві спектральні смуги з довжинами хвиль 450 і 830 нм. При цьому забезпечується $F = 1194,476$; $\Delta = 0,00176$ і $R = 0,9706$.

Наступний приклад розрахунку множинної регресії проведемо на основі визначення коефіцієнта оксигенації крові в шкірі. Приклад вихідних даних для опорядкованого вимірювання оксигенації крові за мультиспектральними параметрами наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Приклад вихідних даних для опорядкованого вимірювання оксигенації крові за мультиспектральними параметрами з використанням множинної регресії

P _{O2} , %	M ₄₅₅	M ₄₆₅	M ₅₀₅	M ₅₂₅	M ₅₉₂	M ₆₂₃	M ₆₆₀	...	M ₉₄₀
0,6000	0,9047	0,9720	0,9524	0,9469	0,9006	0,9083	0,8789	...	0,9976
0,6026	0,8851	0,9496	0,9742	0,9596	0,9039	0,9429	0,8849	...	0,9520
0,6052	0,9140	0,9904	0,9635	0,9681	0,9126	0,9343	0,9141	...	0,9572
0,6079	0,8572	0,9286	0,9434	0,9700	0,9162	0,9389	0,9153	...	0,9761
0,6105	0,8630	0,9314	0,9517	0,9028	0,8990	0,9129	0,8991	...	0,9937
0,6131	0,8728	0,9645	0,9599	0,9317	0,8805	0,9202	0,9137	...	0,9881
...
0,9874	0,9731	0,9506	0,9691	0,9682	0,9553	0,9588	0,9280	...	0,8711
0,9900	0,9331	0,9313	0,9104	0,9619	0,9317	0,9784	0,9537	...	0,8995

Використаємо процедуру виконання множинної регресії з покроковим включенням незалежних змінних. Результати розрахунку множинної регресії для опорядкованого вимірювання оксигенації крові з покроковим додаванням змінних наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку множинної регресії для опорядкованого вимірювання оксигенації крові

N	λ , нм	F	Δ	R
1	940	177,1117	0,076983674	0,73808664
2	940; 592	164,3551	0,063641982	0,83125710
2	940; 592; 455	140,0078	0,058344212	0,86142911
3	940; 592; 455; 465	119,9360	0,055534634	0,87630185
4	940; 592; 455; 465; 623	101,4373	0,054395411	0,88253339
5	940; 592; 455; 465; 623; 660	88,23648	0,053529724	0,88731896
6	940; 592; 455; 465; 623; 660; 850	77,53894	0,053044671	0,89029877
7	940; 592; 455; 465; 623; 660; 850; 505	68,23609	0,052962900	0,89147438

За результатом покрокової множинної регресії з метою визначення оксигенації крові за мультиспектральними параметрами отримано 8 спектральних інтервалів (940; 592; 455; 465; 623; 660; 850; 505 нм), що дозволило досягти $F = 68,236$; $\Delta = 0,053$ і $R = 0,891$. При перевірці на мультиколінеарність отримано коефіцієнти кореляції менше 0,7, тобто між цими змінними кореляційний зв'язок відсутній, що показує відсутність явища мультиколінеарності.

Для розв'язання оберненої оптичної задачі визначення біофізичних параметрів неоднорідних біологічних середовищ необхідно скласти регресійне рівняння. При використанні множинної регресії, десяти мультиспектральних параметрів та поліномів третього порядку регресійне рівняння матиме такий вид:

$$5 \quad f_x = a_0 + b_{1,1}M_1 + \dots + b_{1,10}M_{10} + b_{2,1}M_1^2 + \dots + b_{2,10}M_{10}^2 + b_{3,1}M_1^3 \dots + b_{3,10}M_{10}^3$$

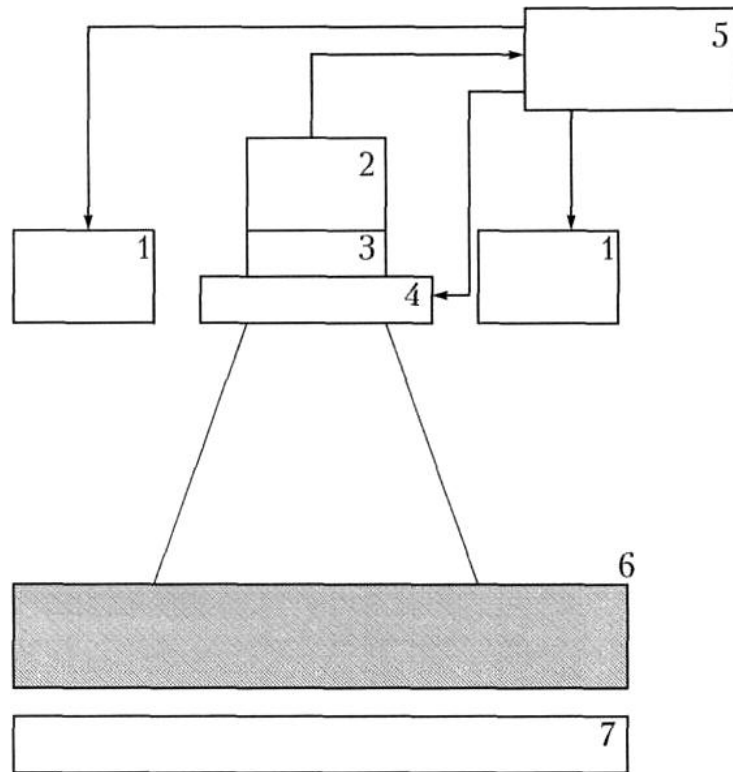
Для n мультиспектральних параметрів та поліномів k -того порядку регресійне рівняння матиме такий вид:

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

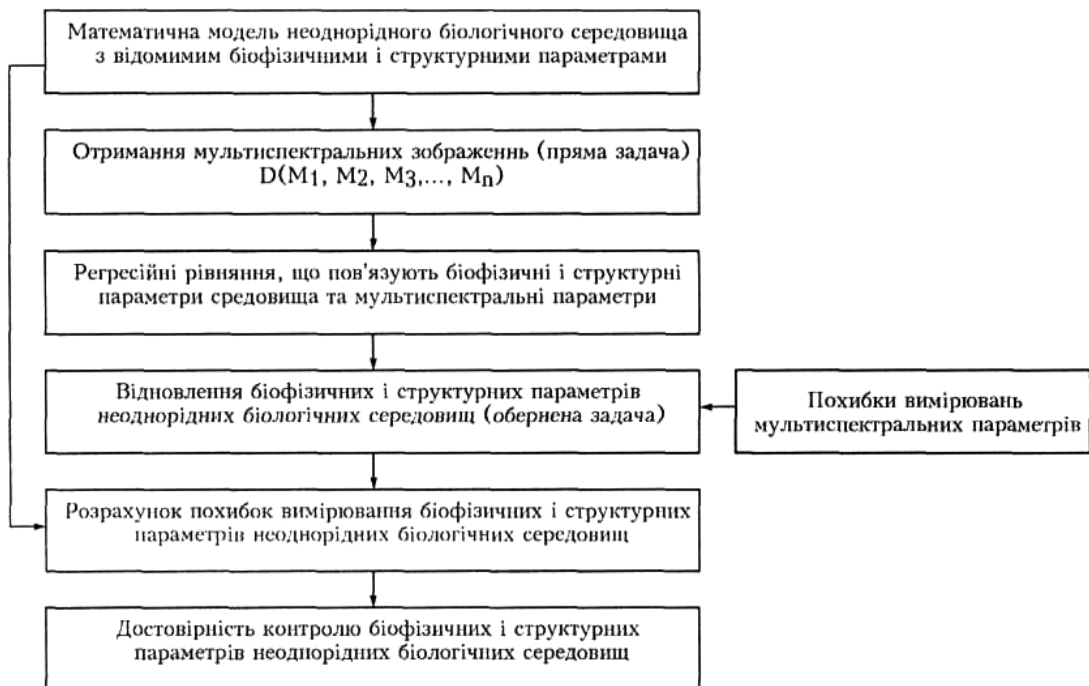
Загальна кількість коефіцієнтів регресійного рівняння буде $k \cdot n + 1$. Таким чином, при використанні поліномів третього порядку та десяти мультиспектральних параметрів кількість коефіцієнтів регресійного рівняння буде 31. Розрахунок такої кількості регресійних коефіцієнтів вимагає досить великих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

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

20 Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, що включає біофізичні дослідження неоднорідних біологічних середовищ, аналіз їх мультиспектральних зображень, отриманих за допомогою дифузного освітлювача, об'єктиву, перестроюваного фільтра та ПЗЗ-камери, аналіз
25 мультиспектральних зображень за допомогою блока керування та обробки зображень, встановлення біофізичних і структурних параметрів шляхом верифікації отриманих показників з результатами мультиспектральних вимірювань модельних (еталонних) неоднорідних біологічних середовищ з відомими параметрами, який **відрізняється** тим, що за допомогою блока керування та обробки зображень здійснюють покрокову множинну регресію для
30 оптимального вибору довжин хвиль і спектральних діапазонів для роботи дифузного освітлювача та перестроюваного фільтра і опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань.



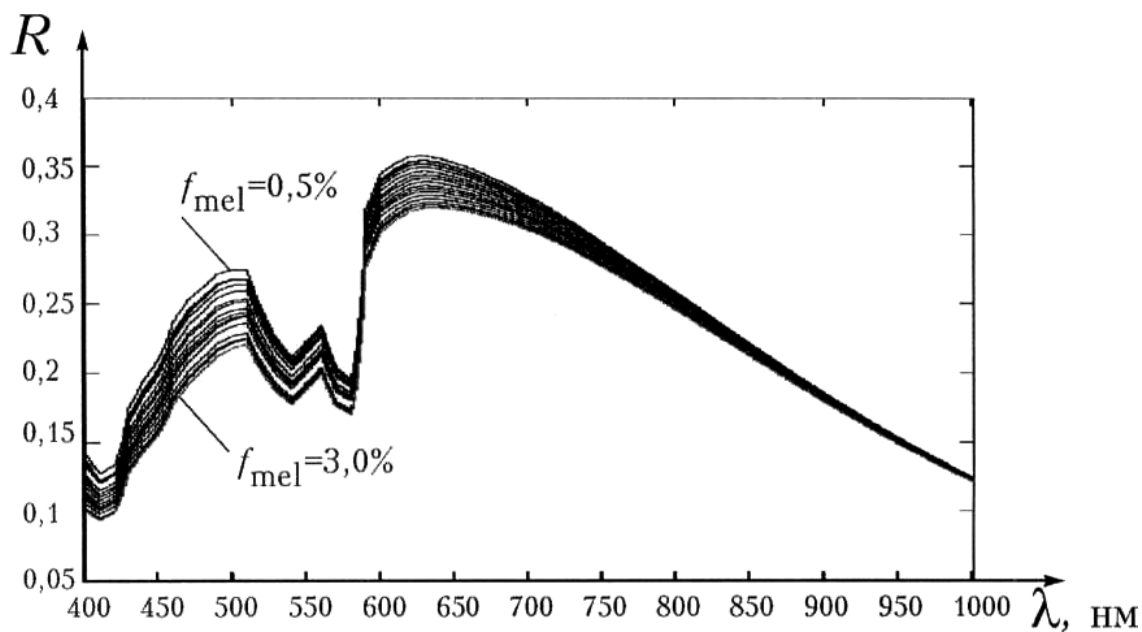
Фіг. 1



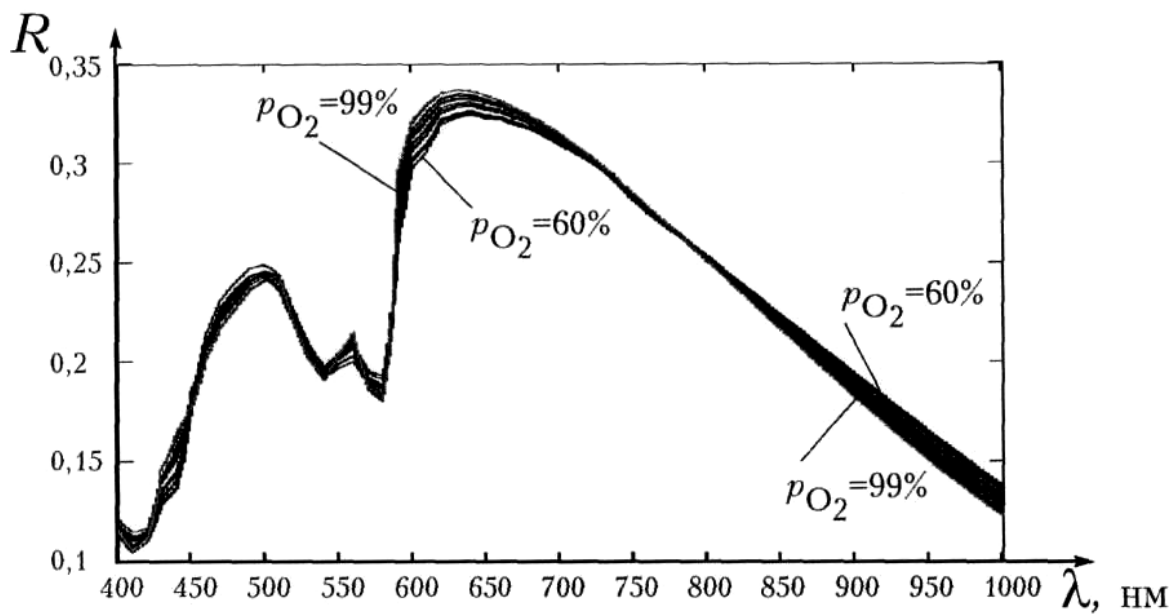
Фіг. 2



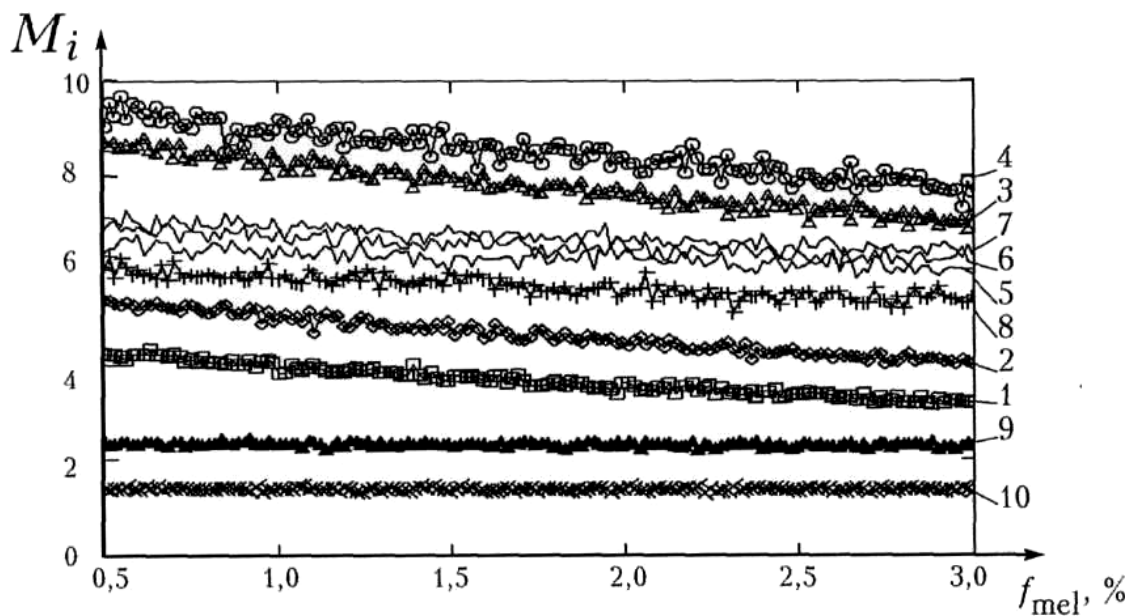
Фіг. 3



Фіг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601