

## ПРИЛАДИ. РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 619.785:519.95

В.Л. Баранов, д.т.н., проф.

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

С.В. Водоп'ян, к.т.н., с.н.с.

Національна академія оборони України

Р.В. Грищук, ад'юнкт

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

З метою підвищення оперативності вирішення завдань екологічного моніторингу за результатами космічної гіперспектральної зйомки у статті розроблено алгоритм автоматизованого оцінювання спектральних характеристик земних утворень. Наведено результати роботи алгоритму та показано, що отримані оцінки спектральних характеристик є оптимальними за критеріями точність–стійкість.

## Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими завданнями.

Концепція гіперспектральної космічної зйомки, започаткована у кінці 90-х років минулого століття, відкрила широкі функціональні можливості оперативного отримання великих обсягів спектральної інформації про земні утворення природного і антропогенного походження. Коло задач, для вирішення яких використовують матеріали гіперспектральної зйомки, охоплює земну поверхню, атмосферу і океан [1].

Інформація про земні утворення при гіперспектральній зйомці міститься у значеннях їх спектральних характеристик – спектральному коефіцієнті теплового випромінювання  $\varepsilon(\nu)$  та спектральному коефіцієнті відбиття  $\rho(\nu)$ , що пов'язані між собою законом збереження енергії  $\varepsilon + \rho = 1$ . Таким чином, спектральні характеристики  $\varepsilon(\nu)$  та  $\rho(\nu)$  земних утворень, що підлягають оцінюванню, виступають розпізнавальною ознакою останніх та відіграють особливо важливу роль при автоматизації процесу тематичного дешифрування матеріалів космічної зйомки.

Середовище (атмосфера та космос), що відділяє оптико-електронну гіперспектральну апаратуру від досліджуваних земних утворень спотворює сигнал. У результаті цього в загальному вигляді його можливо описати математичною моделлю системи рівнянь Фредгольма першого роду [2, 3]:

$$\begin{cases} b_A + b_D + (K_p + K_D) \cdot \left[ \int_{\nu_0}^{\nu_1} r(T_c, \nu) \cdot \rho(\nu)_{i_0} d\nu + \int_{\nu_0}^{\nu_1} r(T_o, \nu) \cdot \varepsilon(\nu)_{i_0} d\nu \right] = R(T)_{i_0}, \nu \in [\nu_0, \nu_1] \\ \dots \\ b_A + b_D + (K_p + K_D) \cdot \left[ \int_{\nu_1}^{\nu_2} r(T_c, \nu) \cdot \rho(\nu)_{i_1} d\nu + \int_{\nu_1}^{\nu_2} r(T_o, \nu) \cdot \varepsilon(\nu)_{i_1} d\nu \right] = R(T)_{i_1}, \nu \in [\nu_1, \nu_2] \\ b_A + b_D + (K_p + K_D) \cdot \left[ \int_{\nu_{n-1}}^{\nu_n} r(T_c, \nu) \cdot \rho(\nu)_{i_{n-1}} d\nu + \int_{\nu_{n-1}}^{\nu_n} r(T_o, \nu) \cdot \varepsilon(\nu)_{i_{n-1}} d\nu \right] = R(T)_{i_{n-1}}, \nu \in [\nu_{n-1}, \nu_n] \end{cases} \quad (1)$$

де  $b_A$  – яскравість атмосферної димки (яскравість на верхній границі атмосфери при значенні спектрального коефіцієнта відбиття поверхні  $\rho(\nu) = \rho = 0$ );  $b_D$  – дифузна складова щільності випромінювання, обумовлена відбиттям світлового потоку від елементів земних утворень, які знаходяться поза полем зору спектрального приладу, але потрапляють на його вхід внаслідок розсіювання в атмосфері;  $K_p = e^{-\tau_a/\mu}$  – прямий коефіцієнт передачі, що визначає ослаблення світлового потоку, який відбився від елемента земного утворення та потрапив у поле зору оптичного приладу ( $\tau_a$  – оптична товщина атмосфери,  $\mu = \cos\theta$ , де  $\theta$  – зенітний кут знімання);  $K_D$  – дифузний коефіцієнт передачі, що характеризує ослаблення випромінювання, що відбилося від земної поверхні, яка знаходиться поза полем зору приладу, але потрапило на його вхід внаслідок розсіювання в атмосфері;

$r(T, \nu) = \frac{\nu^3}{e^{\frac{h}{kT}\nu} - 1}$  – ядро інтегрального рівняння, що записане у вигляді закону теплового

випромінювання Планка Вт/м<sup>3</sup> (спектральна щільність енергетичної світності і-го земного утворення,  $i = 1, 2, \dots, m$ , де  $m$  – кількість земних утворень;  $T_c$  – температура поверхні Сонця;  $T_o$  – термодинамічна температура земного утворення, К;  $h$  – стала Планка,  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Вт•с<sup>2</sup>;  $c$  – швидкість розповсюдження світла у вакуумі,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с;  $\nu$  – частота хвилі випромінювання,  $\nu \in [\nu_{n-1}, \nu_n]$  Гц;  $k$  – стала Больцмана,  $k = 1,3805 \cdot 10^{-23}$  Вт•с•К<sup>-1</sup>);  $R(T)_{i, n-1}$  – щільність випромінювання і-го земного утворення у (n – 1)-му вимірювальному каналі, Вт•м<sup>2</sup>.

Проблематика оцінювання спектральних характеристик за довільним вимірювальним каналом полягає у розв’язанні зворотної задачі, яка є некоректною. Оцінка спектральних характеристик за всіма вимірюваними каналами додатково ускладнює задачу тим, що система набуває вигляду системи n – 1 некоректних рівнянь, знайти розв’язки якої майже неможливо через її погану стійкість та виродженість визначника системи, що дорівнює нулю.

**Постановка завдання та мета статті.** Сигнал, що приймається, гіперспектральною оптико-електронною апаратурою описується математичною моделлю (1). Потрібно оцінити значення спектрального коефіцієнта теплового випромінювання, тобто: із множини можливих рішень  $E$  системи (1), що складається з векторів  $\bar{\varepsilon} = \{\varepsilon_{i, n-1}\}_{i, n-1}^N$  N-мірного евклідового простору потрібно визначити оптимальний розв’язок  $\tau^* \in E$  за обраними критеріями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Алгоритми розв’язання некоректних задач базуються, як правило, на використанні різних методів регуляризації (метод підбору розв’язку, метод регуляризації за Тихоновим, метод локальної регуляризації Арсеніна) тощо [3]. Характерним недоліком, що властивий такій методології, є проблематика знаходження оптимального значення параметра регуляризації, який відповідає за точність одержуваних розв’язків. Алгоритми оцінки спектрального коефіцієнта теплового випромінювання на основі множинної регресії, запропоновані у роботі [4], не повною мірою дозволяють точно оцінювати значення шуканого параметра. Це пов’язано із неможливістю урахування непрямих факторів, обумовлених рішенням зворотних задач (мала зміна інформативного параметра земного утворення може призвести до великої помилки оцінки). Розроблені А.А. Засядько алгоритми розв’язку задачі відновлення сигналів у спектроскопії дозволяють отримувати оптимальні значення оцінюваного параметра за критеріями точність–стійкість та не потребують пошуку параметра регуляризації [5]. Такі алгоритми ефективно застосовувалися для вирішення некоректних задач із простими ядрами інтегральних рівнянь. Їх дієвість не перевірялася на задачах такого класу, як дана задача, де ядра інтегральних рівнянь не належать до множини функцій із визначеною первинною.

**Викладення основного матеріалу. Обмеження та припущення.** Розглянемо систему рівнянь (1). Відомо [1], що ширина вимірюваних каналів гіперспектральних оптико-електронних систем космічних апаратів варіює від 1 нм до 10 нм. Зважаючи на таку вузьку смугу пропускання можливо припустити сталість спектрального коефіцієнта теплового випромінювання по кожному з вимірюваних каналів для і-го земного утворення  $\varepsilon(\nu)_{i, n-1} \approx \varepsilon_{i, n-1} \equiv \text{const}$ . Як обмеження приймемо те, що вимірювання проводились у дальній інфрачервоній області електромагнітного спектра, де присутня лише адитивна складова, що відповідає за енергетику сигналу від природних і антропогенних утворень, спричинених власним тепловим випромінюванням. За таких припущень та обмежень система (1) зведеться до математичної моделі вигляду:

$$\begin{cases} \varepsilon_{i, 0} \int_{\nu_0}^{\nu_1} r(T_o, \nu) \, d\nu = R(T)_{i, 0}, \quad \nu \in [\nu_0, \nu_1], \\ \varepsilon_{i, 1} \int_{\nu_1}^{\nu_2} r(T_o, \nu) \, d\nu = R(T)_{i, 1}, \quad \nu \in [\nu_1, \nu_2], \\ \dots \\ \varepsilon_{i, n-1} \int_{\nu_{n-1}}^{\nu_n} r(T_o, \nu) \, d\nu = R(T)_{i, n-1}, \quad \nu \in [\nu_{n-1}, \nu_n]. \end{cases} \quad (2)$$

Необхідними умовами існування оптимального розв’язку системи рівнянь (2) є [6]:

- відхилення отримуваного розв’язку повинно бути мінімальним;
- нормальний розв’язок за Тихоновим повинен бути мінімальним;
- множина шуканого розв’язку є апіорно довизначеною (розв’язок є нормованим та невід’ємним).

Виходячи з вищезазначених вимог, як перший критерій якості оберемо критерій мінімуму відхилення рішення системи рівнянь (2), тобто критерій мінімізації нев'язки. У формалізованому вигляді його можливо представити як [6]:

$$\min_{\bar{\varepsilon}} I(\bar{\varepsilon})_1 = \sum_0^{n-1} \delta_{i\ n-1}^2, \tag{3}$$

де  $\delta_{i\ n-1}^2$  – квадрат нев'язки рівнянь системи (2), що дорівнює:

$$\delta_{i\ n-1}^2 = \left( \varepsilon_{i\ n-1} \int_{v_{n-1}}^{v_n} r(T, v) dv - R(T)_{i\ n-1} \right)^2. \tag{4}$$

Обмеження на критерій накладемо у вигляді нерівності:

$$0 \leq I(\bar{\varepsilon})_1 \leq I(\bar{\varepsilon})_{1\ \max}, \text{ при } I(\bar{\varepsilon})_{1\ \max} = g \cdot 10^{-3}, \tag{5}$$

де  $g$  – розмірність, Вт/м<sup>2</sup>.

Як регуляризуючий критерій, що надає стійкості системі та гарантується нормальним розв'язком за Тихоновим, оберемо квадрат норми розв'язку:

$$\min_{\bar{\varepsilon}} I(\bar{\varepsilon})_2 = \sum_0^{n-1} \varepsilon_i^2. \tag{6}$$

Обмеженням на критерій (6) виступатиме нерівність вигляду

$$0 \leq I(\bar{\varepsilon})_2 \leq I(\bar{\varepsilon})_{2\ \max} \text{ при } I(\bar{\varepsilon})_{2\ \max} = \sum_0^{n-1} R(T)_{i\ n-1}^2. \tag{7}$$

Оптимізаційна задача знаходження мінімуму критеріїв якості  $I(\bar{\varepsilon})_1$  та  $I(\bar{\varepsilon})_2$  зводиться до двокритеріальної з конфліктом між мінімізацією відхилення (нев'язки) розв'язку та мінімізацією норми розв'язку. Як показано у [7], нелінійна схема компромісів, що відповідає векторній моделі оптимізації, дозволяє знайти оптимальний компроміс між критеріями, які входять до її складу, оскільки отримуване рішення належатиме області компромісів, тобто є оптимальним за Парето.

Багатокритеріальна модель за нелінійною схемою компромісів Вороніна у загальному вигляді описується моделлю [7]:

$$I(\bar{\varepsilon})^* = \arg \min_{\bar{\varepsilon}} \sum_{u=1}^n \frac{1}{\left(1 - \frac{I(\bar{\varepsilon})_u}{I(\bar{\varepsilon})_{u\ \max}}\right)^{G_u}}, \tag{8}$$

де  $I(\bar{\varepsilon})_{u\ \max}$  – обмеження на часткові критерії.

В окремому випадку двокритеріальна задача на основі частинних критеріїв (3) та (6) і моделі (8) зводиться до скалярної функції, яка у випадку неперервності й опуклості частинних критеріїв має єдиний мінімум [7]:

$$I(\bar{\varepsilon})^* = \arg \min_{\bar{\varepsilon}} \sum_{u=1}^2 \left[1 - \frac{I(\bar{\varepsilon})_u}{I(\bar{\varepsilon})_{u\ \max}}\right]^{-1}. \tag{9}$$

Необхідною умовою мінімуму функції (9) для системи (2) буде система кінцевих рівнянь вигляду:

$$\frac{\partial I(\bar{\varepsilon})^*}{\partial \varepsilon_{n-1}} = 0, \tag{10}$$

де  $n$  – кількість задіяних каналів при вимірюваннях.

Блок-схему алгоритму розрахунку спектрального коефіцієнта теплового випромінювання, що розроблено на основі підходу, викладеного вище, представлено на рис. 1. Алгоритм складається із дев'яти послідовних кроків.

*Крок 1. Введення даних.*

Оператором-дешифрувальником формується файл вихідних параметрів, що містить гіперспектральний куб даних. Гіперспектральний куб даних являє собою тривимірний вектор координат  $(x_{n-1}, y_{n-1}, [v_{n-1}, v_n])_i$   $i$ -го земного утворення, де  $x_{n-1}$  та  $y_{n-1}$  координати елемента розрізнення, що визначають значення  $R(T)_{i\ n-1}$  у  $n-1$  спектральному каналі  $[v_{n-1}, v_n]$ .

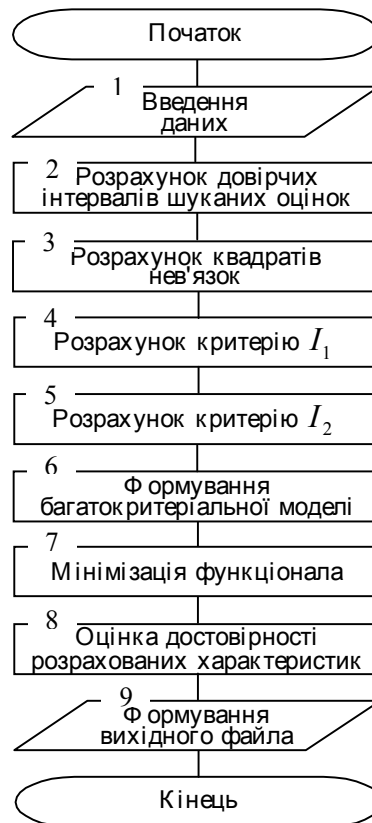


Рис. 1. Блок-схема алгоритму

Крок 2. Розрахунок довірчих інтервалів шуканих оцінок.

З метою виключення хибного дешифрування класів земних утворень на даному кроці розраховується довірчий інтервал. Виходячи з фізичних міркувань довірчий інтервал для кожного вимірювального каналу за відомими апріорно даними польового спектрополяриметра визначається як

$$[\varepsilon_{in-1} - 3 \cdot 10^{-3}; \varepsilon_{in-1} + 3 \cdot 10^{-3}]. \tag{11}$$

Крок 3. Розрахунок квадратів нев'язок.

На даному етапі для  $i$ -го земного утворення розраховуються квадрати нев'язок за усіма  $n - 1$  спектральними каналами відповідно до (4).

Крок 4. Розрахунок критерію  $I_1$ .

Цей етап полягає у розрахунку критерію  $I_1$  згідно з виразом (3).

Крок 5. Розрахунок критерію  $I_2$ .

Критерій  $I_2$  на даному кроці розраховується згідно з (6) у аналітичному вигляді, доданки якого становитимуть шукані значення спектрального коефіцієнта теплового випромінювання.

Крок 6. Формування багатокритеріальної моделі.

На основі частинних критеріїв  $I_1$  та  $I_2$  ((3) та (6) відповідно) та їх обмежень  $I(\bar{\varepsilon})_{1 \max}$  та  $I(\bar{\varepsilon})_{2 \max}$  ((5) та (7) відповідно) формується модель двокритеріальної задачі оптимальності:

$$I(\bar{\varepsilon})^* = \frac{1}{1 - \frac{I(\bar{\varepsilon})_1}{I(\bar{\varepsilon})_{1 \max}}} + \frac{1}{1 - \frac{I(\bar{\varepsilon})_2}{I(\bar{\varepsilon})_{2 \max}}} \tag{12}$$

Крок 7. Мінімізація функціонала.

На цьому етапі проводиться мінімізація функціонала (9) шляхом виконання необхідної умови екстремуму функції (12):

$$\frac{\partial I(\bar{\varepsilon})^*}{\partial \bar{\varepsilon}_{n-1}} = \frac{I(\bar{\varepsilon})_{2 \max} \cdot \frac{\partial I(\bar{\varepsilon})_2}{\partial \bar{\varepsilon}_{n-1}}}{(I(\bar{\varepsilon})_{2 \max} - I(\bar{\varepsilon})_2)^2} + \frac{I(\bar{\varepsilon})_{1 \max} \cdot \frac{\partial I(\bar{\varepsilon})_1}{\partial \bar{\varepsilon}_{n-1}}}{(I(\bar{\varepsilon})_{1 \max} - I(\bar{\varepsilon})_1)^2} = 0 \tag{13}$$

Крок 8. Оцінка достовірності розрахованих характеристик.

На даному кроці проводиться перевірка належності розрахованих спектральних характеристик довірчому інтервалу (11).

$$\tau_{i,n-1}^* \in [\varepsilon_{i,n-1} - 3 \cdot 10^{-3}; \varepsilon_{i,n-1} + 3 \cdot 10^{-3}] \tag{14}$$

Крок 9. Формування файла вихідних даних.

Даний етап є заключним. Результати розв'язання кінцевої системи нелінійних рівнянь записуються у масив вихідних даних, на основі якого формується таблиця значень спектральних коефіцієнтів теплового випромінювання відповідно до спектральних каналів, або дані представляються у вигляді графіків.

Експериментальна перевірка алгоритму.

Нехай дано десятиканальний гіперспектральний космічний знімок трьох земних утворень при однаковій термодинамічній температурі  $T = 363$  К у діапазоні частот  $\nu = [2.9732 \cdot 10^{13}, 3 \cdot 10^{13}]$  Гц, з шириною спектрального каналу 10 нм.

Результати оцінки спектрального коефіцієнта теплового випромінювання за запропонованим алгоритмом наведено у таблиці та для візуалізації відображено на рис. 2.

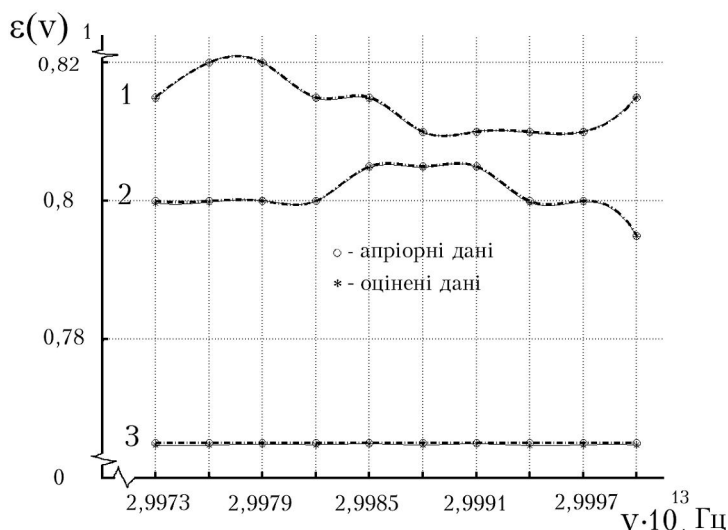


Рис. 2. Графік залежності спектрального коефіцієнта теплового випромінювання від частоти для деяких природних утворень при  $T = 363$  К: 1 – глина; 2 – ґрунт з піску, глини та вапняку; 3 – мілка галька

Таблиця

Назва природного утворення	Дані польового спектрополяриметра	Довірчий інтервал	Дані оцінювання
	$\varepsilon_{i,n-1}$	$[\varepsilon_{i,n-1} - 3 \cdot 10^{-3}; \varepsilon_{i,n-1} + 3 \cdot 10^{-3}]$	$\tau_{i,n-1}^*$
Глина	0,8875	[0,8845; 0,8905]	0,8870
	0,9000	[0,8970; 0,9030]	0,9001
	0,9000	[0,8970; 0,9030]	0,9001
	0,8875	[0,8845; 0,8905]	0,8872
	0,8875	[0,8845; 0,8905]	0,8870
	0,8750	[0,8720; 0,8780]	0,8749
	0,8750	[0,8720; 0,8780]	0,8751
	0,8750	[0,8720; 0,8780]	0,8747
Ґрунт з піску, глини та вапняку	0,8875	[0,8845; 0,8905]	0,8877
	0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8493
	0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8496
	0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8502
	0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8500
	0,8625	[0,8595; 0,8655]	0,8620
	0,8625	[0,8595; 0,8655]	0,8623
	0,8625	[0,8595; 0,8655]	0,8623
	0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8495
0,8500	[0,8470; 0,8530]	0,8497	
0,8375	[0,8345; 0,8405]	0,8372	

Мілка галька	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7618
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7618
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7622
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7620
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7623
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7619
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7623
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7617
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7619
	0,7625	[0,7595; 0,7655]	0,7619

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Результати роботи алгоритму, викладені у табл. 1, підтверджують дієвість запропонованого підходу. Оцінені значення спектрального коефіцієнта теплового випромінювання з точністю до  $1 \cdot 10^{-3}$  знаходяться в межах довірчого інтервалу. Це свідчить про те, що з ймовірністю 0,9973 виключається можливість хибного дешифрування класів земних утворень з близькими значеннями спектральних характеристик за матеріалами гіперспектральної зйомки. Для підвищення оперативності роботи алгоритму доцільно проводити групування спектральних каналів на парні групи по два канали (наприклад перший і другий канали, третій і четвертий та ін.). Таке групування в середньому дозволяє проводити оцінку спектральних характеристик з оперативністю  $5 \cdot n$  секунд. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку алгоритмів оцінки спектрального коефіцієнта теплового випромінювання за умови апріорної невизначеності термодинамічної температури земних утворень.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. – М.: Издательский центр "Академия", 2004. – 336 с.
2. Семенов А.А. Оценка параметров атмосферной коррекции при анализе многоспектральных сканерных изображений // Исследование Земли из космоса. – 2002. – № 2. – С. 38–45.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
4. Thomas S., Frederic J., Andrew F. Estimation of land surface window (8–12  $\mu\text{m}$ ) emissivity from multispectral thermal infrared remote sensing – A case study in a part of Sahara Desert // Hydrology and Remote Sensing Lab. – 2003. – 30. – № 2. – Pp. 1–39.
5. Засядько А.А. Алгоритми розв'язку задачі відновлення сигналів у спектроскопії з використанням дискретних ортогональних перетворень: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Київ, 2000. – 17 с.
6. Засядько А.А. Моделювання задач відновлення сигналів за допомогою багатокритеріальної оптимізації // Збірник наукових праць ЖДТУ. – 2003. – № 1. – С. 95–98.
7. Векторна оптимізація динамічних систем / А.М. Воронін, Ю.К. Зіатдінов, О.І. Козлов та ін. – К.: Техніка, 1999. – 284 с.

БАРАНОВ Володимир Леонідович – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник наукового підрозділу Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– некоректні задачі.

ВОДОП'ЯН Сергій Васильович – кандидат технічних наук старший науковий співробітник, докторант очної докторантури Національної академії оборони України.

Наукові інтереси:

– некоректні задачі.

ГРИЩУК Руслан Валентинович – ад'юнкт очної ад'юнктури Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

– методи обробки даних дистанційного зондування Землі.

Подано 30.08.2006

**Баранов В.Л., Водоп'ян С.В., Грищук Р.В.** Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання

**Баранов В.Л., Водоп'ян С.В., Грищук Р.В.** Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання

**Baranov V.L., Vodopyan S.V., Grischuk R.V.** Automated algorithm for estimation of emissivity

УДК 619.785:519.95

**Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання / В.Л. Баранов, С.В. Водоп'ян, Р.В. Грищук**

З метою підвищення оперативності вирішення завдань екологічного моніторингу за результатами космічної гіперспектральної зйомки, у статті розроблено алгоритм автоматизованого оцінювання спектральних характеристик земних утворень. У статті наведено результати роботи алгоритму та показано, що отримані оцінки спектральних характеристик є оптимальними за критеріями точність-стійкість.

УДК 619.785:519.95

**Алгоритм автоматизованого оцінювання спектрального коефіцієнта теплового випромінювання / В.Л. Баранов, С.В. Водоп'ян, Р.В. Грищук**

Для повышения оперативности решения задач экологического мониторинга по результатам гиперспектральной съёмки в статье разработан алгоритм автоматизованного оцінювання спектральних характеристик земних образований. В статье приведены результаты работы алгоритма и показано, что полученные оценки спектральных характеристик оптимальны по критериям точность-стойкость.

УДК 619.785:519.95

**Automated algorithm for estimation of emissivity / V.L. Baranov, S.V. Vodopyan, R.V. Grischuk**

For effective increasement of decision the ecological monitoring problems based on results of hyperspectral imaging the automated algorithm for emissivity of terrestrial features is developed in article. The results of algorithm performance are shown in the article and also is seen that the received ratings of spectral characteristics are optimum by criteria accuracy – stability.