

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ  
НА РОЗРІЗНЕНІСТЬ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ**

© Бурштинська Х., Долинська І., 2010

*Представлена математическая модель влияния основных факторов на разрешающую способность космических съёмочных систем. Определены зависимости функций передачи модуляции от факторов, влияющих на качество изображения, и  $g(x, y)$  от природных условий съёмки.*

*A mathematical model of the influence of major factors on the resolution of space imaging systems is presented. The dependence of modulation transfer function by the factors affecting on image quality and the natural conditions of imaging is determined.*

**Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Для забезпечення космічної діяльності в Україні створювались космічні програми. Третю Загальнодержавну космічну програму (2003–2007) спрямовано на виконання цільових програм, зокрема “Дистанційного зондування Землі”. Остання, четверта, загальнодержавна цільова науково-технічна програма розрахована на 2008–2012 роки. В межах цієї програми велику увагу зосереджено на отриманні високоякісних космічних зображень, які слугують для вирішення різноманітних завдань як наукового, так і прикладного характеру [1, 3]

Космічну інформацію, яку одержують за допомогою космічних засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), широко і ефективно використовують багато країн світу. Нині в Україні немає жодного нормативно-технічного документа, де була б описана методологія дешифрування саме космічних зображень та чітко не визначено можливості використання різних космічних знімальних систем для розв'язання конкретних завдань [6].

Задача визначення впливу різних чинників на якість космічних зображень є сьогодні актуальною, тому що від неї залежать результати конкретних визначень координат точок об'єктів дослідження.

**Аналіз досліджень і публікацій, постановка завдання.** Стосовно знімальних систем, сигналів яких є двовимірними функціями просторових координат, аналогами передавальних функцій є:

- функція розсіювання точки, як реакція системи на нескінченно малу світляну точку, або для одномірного випадку – функція розсіювання лінії  $g(x)$ ;
- межова крива  $E(x)$  – реакція системи на різкий край;
- просторово-частотна передавальна функція  $P(N)$ , де  $N$  – просторова частота [2].

Функція передавання модуляції залежить від багатьох чинників, які можна поділити на дві групи – внутрішні (залежать від параметрів знімання системи: розрізнявальної здатності ПЗЗ-матриці, якості оптичних вузлів, фокусної відстані об'єктива, дефокусування) та зовнішні (залежать від контрасту об'єктів, прозорості атмосфери, зсуву зображення тощо).

Тобто результативну функцію передавання модуляції можна подати як таку, що залежить від багатьох ланок, насамперед оптичної системи, сенсорів, впливу зсувів зображення, стану атмосфери та інших чинників [4, 5]. Кожна із окремих функцій передавання модуляції є складною. Розглянемо детальніше математичну модель впливу деяких основних чинників на визначення результативної функції передавання модуляції аерокосмічної системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Запишемо вираз для результативної функції передавання модуляції зображення:

$$T_{\Sigma}(N) = K \cdot K_{am} \cdot T_{myr}(N) \cdot T_{ob}(N) \cdot T_{zc}(N) \cdot T_{def}(N) \cdot T_{ouf}(N) \cdot T_{fn}(N), \quad (1)$$

де  $K$  – контраст об'єктів;  $K_{am}$  – коефіцієнт, який враховує вплив світлорозсіювання;  $N$  – кількість ліній на міліметр.

#### **Вплив турбулентності атмосфери**

Для урахування впливу турбулентності атмосфери в спеціальній літературі [6] використовують вираз:

$$T_{myr}(N) \cong \exp(-2 \cdot \pi^2 \cdot \sigma_T^2 \cdot f_k^2 \cdot N^2), \quad (2)$$

де  $f_k$  – фокусна відстань об'єктива, мм;  $\sigma_T$  – константа, яка враховує вплив турбулентності (для сприятливих умов спостереження  $\sigma_T \approx 10^{-6}$ ).

#### **Вплив зсуву зображення**

Вплив зсуву зображення можна розрахувати за формулою:

$$T_{zc}(N) = \frac{\sin(\pi \cdot \Delta_{zc} \cdot N)}{\pi \cdot \Delta_{zc} \cdot N}, \quad (3)$$

де  $\Delta_{zc}$  – становить близько 10–20 % від розміру пікселя.

#### **Вплив залишкового дефокусування**

Для обчислення впливу залишкового дефокусування можна використати співвідношення:

$$T_{def}(N) \cong \exp\left(-2.5 \cdot A_{def}^2 \cdot \left(\frac{f_k}{d_0}\right)^{-2} \cdot N^2\right), \quad (4)$$

де  $A_{def}$  – величина зміщення фокальної площини за рахунок залишкового дефокусування, мм;

$\left(\frac{f_k}{d_0}\right)$  – знаменник відносного отвору.

#### **Вплив дифракції**

Вплив дифракції на вхідному отворі оптичної системи моделюють за рівністю:

$$T_{ouf}(N) \cong 1 - 7.5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{f_k}{d_0} \cdot N. \quad (5)$$

#### **Вплив дискретного фотоприймача**

Вплив одного елемента дискретного фотоприймача можна розрахувати за формулою:

$$T_{fn}(N) = \frac{\sin(\pi \cdot \Delta \cdot N)}{\pi \cdot \Delta \cdot N}, \quad (6)$$

де  $\Delta$  – розмір пікселя, мм.

Рівняння для визначення розрізняльної здатності дискретної системи в польоті набуває вигляду:

$$R = T_{\Sigma}(N) \cdot K = K_{nop} \left( R_K' \right). \quad (7)$$

Для розрахунку кривої порогової модуляції  $K_{nop}(N)$  необхідно знайти сумарне середньоквадратичне значення шумів каналу проходження дискретної інформації, виражене у величинах оптичної щільності. Для сенсора супутника IRS-1C ці дані наведено для панхроматичного каналу,  $\sigma_D^2 \approx 0,03 \div 0,05$ . Шуми сенсорів інших систем порівняно з системою IRS-1C за даними фірм мають ще меншу величину [1].

Виконавши обчислення для конкретних знімальних систем, можна отримати графік результативної функції передавання модуляції (рис. 1) і визначити розрізняльну здатність знімальної системи з урахуванням основних чинників:

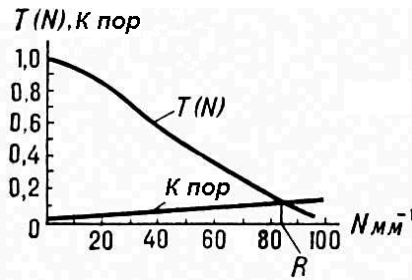


Рис. 1. Визначення розрізненості знімальних систем: графік функції передавання модуляції, на якому коефіцієнт передавання модуляції  $T(N)$  поданий як функція просторової частоти ґратки  $N$  (величини, оберненої до її періоду).  $K_{пор}$  – крива порогової модуляції

Що ж стосується величини розрізнення на місцевості  $R_m$ , то її визначають через розрізняльну здатність системи у фокальній площині:

$$R_m = \frac{1}{R} \cdot m = \frac{H}{f \cdot R}, \quad (8)$$

де  $H$  – висота знімання, км;  $f$  – фокусна відстань, м;  $R$  – значення розрізнення.

**Експериментальні дослідження.** Для отримання величини розрізненості знімальної системи складено програму в середовищі Delphi. За допомогою цієї програми, з використанням формул (1)–(6), визначено функції передавання модуляції для окремих чинників. Як приклад, подаємо графіки впливу основних чинників на функцію передавання модуляції знімальної системи супутника (рис. 2).

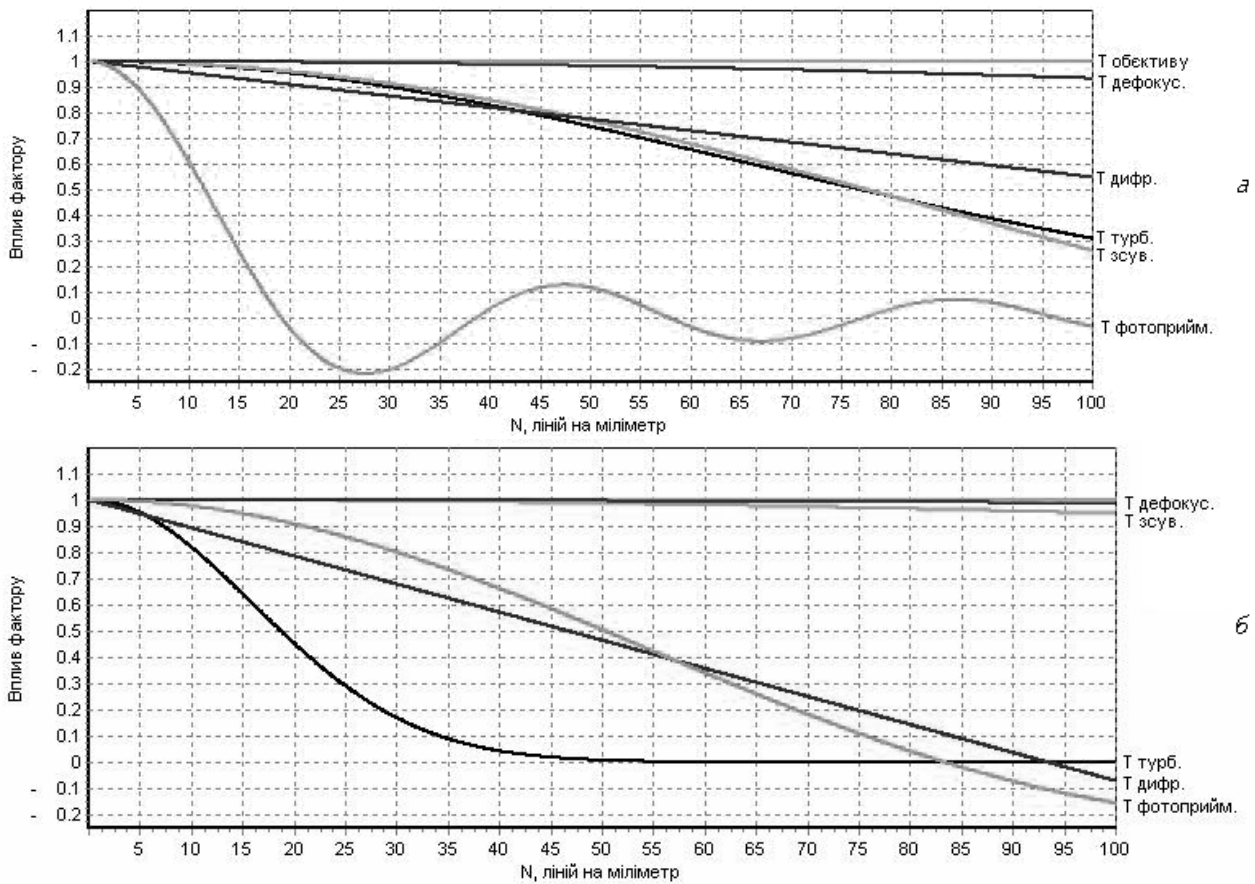


Рис. 2. Чинники впливу на функцію передавання модуляції: а – для супутника Landsat 7 ETM+ Pan; б – для супутника Ikonos 2 SCT Pan

Результативні функції передавання модуляції за різних значень коефіцієнтів контрастності об'єктів ( $K = 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2$ ) подано на рис. 3.

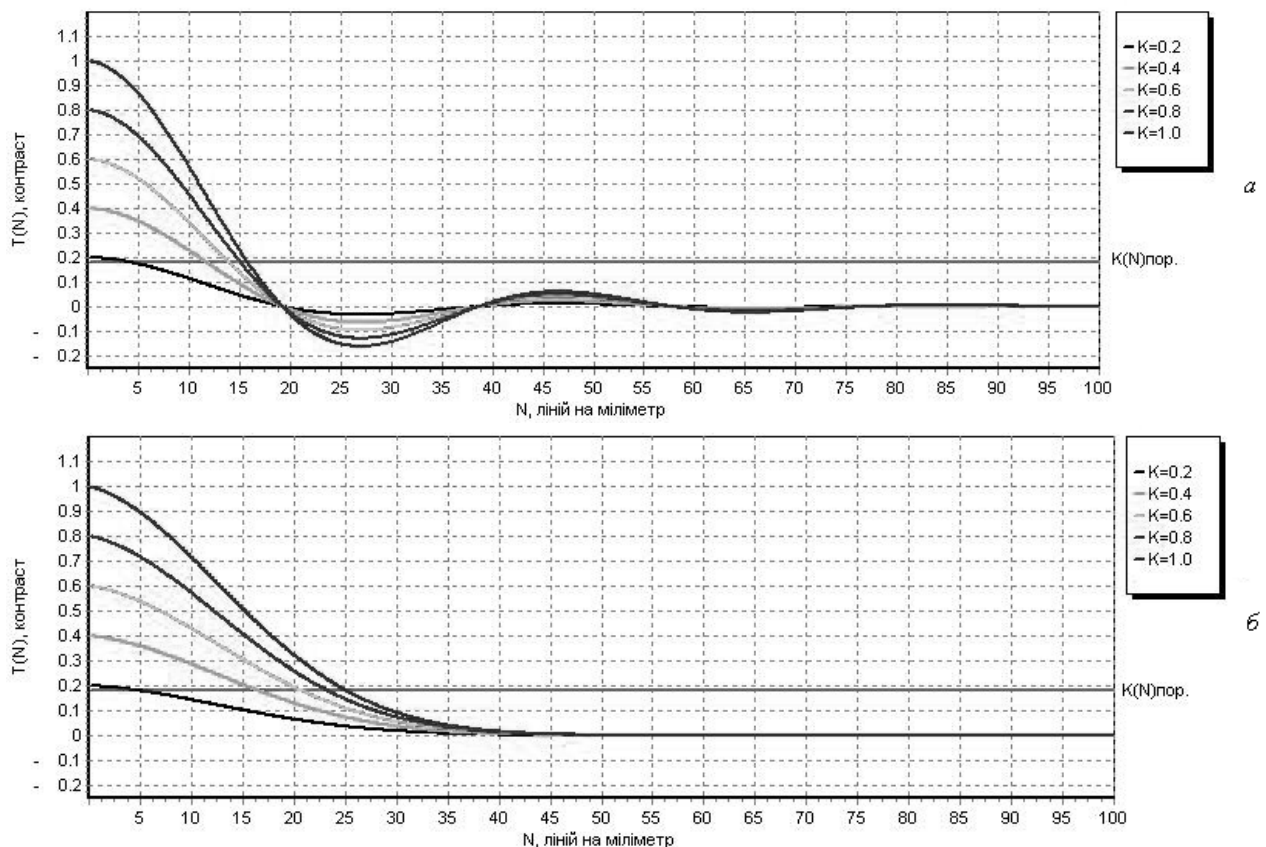


Рис. 3. Результативна функція передавання модуляції:  
а – для супутника Landsat 7 ETM+ Pan; б – для супутника Ikonos 2 SCT Pan

У перетині функції передавання модуляції  $T(N)$  з кривою порогової модуляції (7) отримуємо результативну розрізнявальну здатність системи. Результати обчислень розрізнявальної здатності  $R$  для різних знімальних систем космічних літальних апаратів за коефіцієнтів контрастності об'єктів  $K = 1,0; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2$  подано в табл. 1. Для визначення розрізненості прийнято  $K_{пор} = 0,18$ , величина зміщення фокальної площини за рахунок залишкового дефокусування –  $A_{def} = 0,01$  мм, коефіцієнт  $\Delta_{zc}$  становить 15 % від розміру пікселя.

Таблиця 1

### Результативна розрізнявальна здатність системи

№ з/п	Назва супутника	R(K=0.2)	R(K=0.4)	R(K=0.6)	R(K=0.8)	R(K=1.0)
1	Landsat 7 ETM+ Pan	4.2	11.8	14.0	15.1	15.9
2	SPOT 4 HRVIR Pan	14.3	43.2	52.1	57.0	60.2
3	SPOT 5 HRG Pan	12.6	50.7	64.5	72.8	78.6
4	IRS-1D Pan	17.0	64.6	81.0	90.5	96.9
5	Ikonos 2 SCT Pan	4.8	16.5	20.7	23.3	25.1
6	OrbView 3 VHRC-60 Pan	13.0	45.8	57.7	64.8	69.8
7	QuickBird 2 Pan	7.5	28.6	36.5	41.1	44.5
8	Eros A 1 Pan	8.6	31.3	39.2	43.9	47.1
9	Terra MODIS канал 1	8.3	24.0	28.7	31.1	32.6
10	Terra ASTER канал 2	11.6	38.1	46.3	50.8	53.7
11	Ресурс-01 МСУ-Э канал 1	6.2	17.6	20.9	22.6	23.7
12	Океан-О МСУ-В канал 2	7.8	22.8	27.3	29.6	31.1

У табл. 2 наведено порівняльні значення розрізнення на місцевості, подані відповідними фірмами та обчислені із урахуванням впливу основних чинників.

## Порівняльні значення розрізнення на місцевості

№ з/п	Назва супутника	Значення проекції піксела на місцевості, м	Обчислене значення розрізнення, м
1	Landsat-7 ETM+Pan	15,00	18,19
2	SPOT-4 HRVIR PAN	10,00	12,56
3	SPOT-5 HRG PAN	2,50	3,96
4	IRS-1D Pan	5,80	8,24
5	Ikonos-2 SCT Pan	0,82	1,29
6	OrbView 3 VHRC-60	1,00	1,45
7	QuickBird-2 Pan	0,61	1,22
8	Eros-A1 Pan	1,80	2,45
9	Terra MODIS канал1	250,0	230,27
10	Terra ASTER канал2	15,00	19,06
11	Ресурс-01 МСУ-Э к1	45,00	54,85
12	Океан-О МСУ-В к2	50,00	61,37

**Висновки.** 1. Фірми, які виготовляють знімальні космічні апаратури, з метою реклами продукції подають як розрізнення на місцевості проекції елемента ПЗЗ-матриці, що призводить до завищення показників передавальних можливостей зображень. 2. Для визначення реального розрізнення на місцевості використано основні математичні залежності впливу на зображення таких чинників: турбулентності атмосфери, зсуву зображення, залишкового дефокусування, дифракції, дискретного фотоприймача, контрасту об'єктів. 3. Із аналізу окремих чинників встановлено домінантний вплив на якість зображення турбулентності атмосфери та розміру окремого елемента сенсора.

1. Буришинська Х.В., Станкевич С.А. Аерокосмічні знімальні системи. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 292 с. 2. Буришинська Х.В. Аерофотографія. – АГАТ, Львів. – 1999. – 356 с. 3. Буришинська Х., Береза О., Поліщук Б. До питання визначення функції передавання модуляції аерознімальних систем // Геодезія, картографія і аерофотознімання, Вип. 68, 2007. – С. 163–171. 4. Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрование фотограмметрических изображений. – М.: Недра, 1980. – 254 с. 5. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. – М.: Логос, 2001. – 264 с. 6. Кобилінська Є.В. Розвиток методів дешифрування об'єктів місцевості при топографічному зніманні космічними системи ДЗЗ // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – № 4. – С. 28–33; 7. Кононов В.І. Розрахунок роздільної здатності із врахуванням впливу факторів польоту // Геодезія, картографія і аерофотознімання, Вип. 63, 2003. – С. 135–139.