

П.В. Фриз, к.т.н., проф.

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ШИРИНИ ТА ГЕОГРАФІЧНОГО ПОЛОЖЕННЯ СМУГИ ОГЛЯДУ В ЗАВДАННЯХ ДЕТАЛЬНИХ КОСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У НАДИР

Запропоновано математичний апарат і методику розрахунків ширини та географічних координат смуги огляду в завданнях детальних космічних спостережень наземних об'єктів (НО) з використанням бортової цільової апаратури (БЦА) оптико-електронного типу при орієнтації її поля зору в надир. Ці параметри є визначальними для планування космічної зйомки заданих НО та оцінювання її результатів. Показано, що розроблені моделі забезпечують розрахунки параметрів землеогляду з прийнятною точністю, що є основою для планування раціональних маршрутів «обслуговування» заданих НО та оцінювання ефективності процесу спостережень з урахуванням необхідності одержувати максимальні обсяги корисної цільової інформації заданої якості в потрібний час при обмеженому бортовому ресурсі космічних апаратів (КА). Проведені дослідження завдання спостереження за НО на обертовій та обертовій сферичній Землі. Розроблений науково-методичний апарат для розрахунків ширини і географічного положення смуги огляду може бути основою для моделювання процесів під час детальних космічних спостереженнях Землі в надир.

Ключові слова: ширина смуги огляду; траса КА; підсупутникова точка.

Постановка проблеми. У завданнях спостереження Землі з космосу серед відомих параметрів землеогляду особливе місце займає **смуга огляду**, яка являє собою слід (трасу) проекції зони огляду КА на *обертовій* Землі зі вказівкою часу проходження КА окремих НО. Основними параметрами смуги огляду є її *ширина* та *географічні координати*. Ці параметри характеризують геометричні (просторові) можливості КА зі спостереження за НО відносно його траси при орієнтації поля зору в надир.

Якщо математичний апарат і методика розрахунків ширини смуги огляду та її географічного положення у процесі *оглядових* спостереженнях більш-менш відомі, то подібний науково-методичний апарат для *детальних* спостережень *потребує удосконалення та подальшого розвитку*.

Це має визначальне значення для моделювання процесів *детальних* спостережень. Створювані моделі мають, зокрема, забезпечувати розрахунки параметрів землеогляду з прийнятною точністю, що є основою для планування раціональних маршрутів «обслуговування» заданих НО та оцінювання ефективності процесу спостережень з урахуванням необхідності одержувати максимальні обсяги корисної цільової інформації заданої якості в потрібний час за обмеженого бортового ресурсу КА. А це потребує відповідного систематизованого науково-методичного апарату.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Формуванню параметрів землеогляду та розрахункам їх значень присвячено низку робіт [1–8]. Однак їх аналіз показав, що частина з них охоплює лише окремі питання побудови трас КА [1, 2]. У роботах [3, 4] наведено окремі математичні вирази для розрахунків тільки лінійних розмірів смуги огляду або смуги захвату. Роботи [5, 6] висвітлюють параметри землеогляду при суттєвих спрощеннях і обмеженнях, що не завжди відповідає практичним потребам. Найбільш близькими до визначеної проблеми є джерело [6], де наведені визначення майже всіх параметрів землеогляду, а також статті [7, 8], в яких викладено математичний апарат для розрахунків окремих із них. У той же час у зазначених публікаціях не знайшли відображення математичний апарат та методика для розрахунків географічних координат смуги огляду КА.

Виходячи з цього, у статті наведено уточнені поняття окремих параметрів землеогляду та систематизований існуючий або оригінальний авторський методичний і математичний апарат для їх розрахунків щодо завдань планування та оцінювання ефективності детальних космічних спостережень.

Викладення основного матеріалу. Перш за все наведемо тлумачення окремих параметрів землеогляду, які уточнюють або доповнюють визначення, наведені в [6].

Траса КА – це проекція орбіти КА на *обертovu* Землю із вказівкою часу проходження КА окремих пунктів [2]. Іншими словами, траса – це математична лінія між двома підсупутниковими точками (ПТ).

© П.В. Фриз, 2014

ий момент часу КА видно у зеніті.

Іншими словами, – це точка перетину поточного радіуса-вектора КА з поверхнею Землі.

Відносно траси під час спостережень в надир формується смуга огляду КА, геометричні розміри і географічне положення якої забезпечують раціональне планування космічних спостережень та оцінювання якості виконання КА цільового завдання.

Прийmemo, що зона огляду КА являє собою **прямий коловий конус** *СКВ* з кутом при вершині 2χ , візирна вісь БЦА збігається з висотою цього конуса і направлена в **надир** (рис. 1). КА перебуває на висоті H . У цьому випадку проекція зони огляду на поверхні сферичної Землі являє собою «**опукле коло**» (коло на сферичній поверхні).

Необхідно розрахувати ширину смуги огляду $Ш_\chi$ та її географічне положення $\Pi(\lambda, \varphi)$, тобто географічні довготу $\lambda = \lambda(t)$ і широту $\varphi = \varphi(t)$ лівої та правої меж смуги огляду як функцій польотного часу $t = t_j, j = 0, 1, 2, \dots$

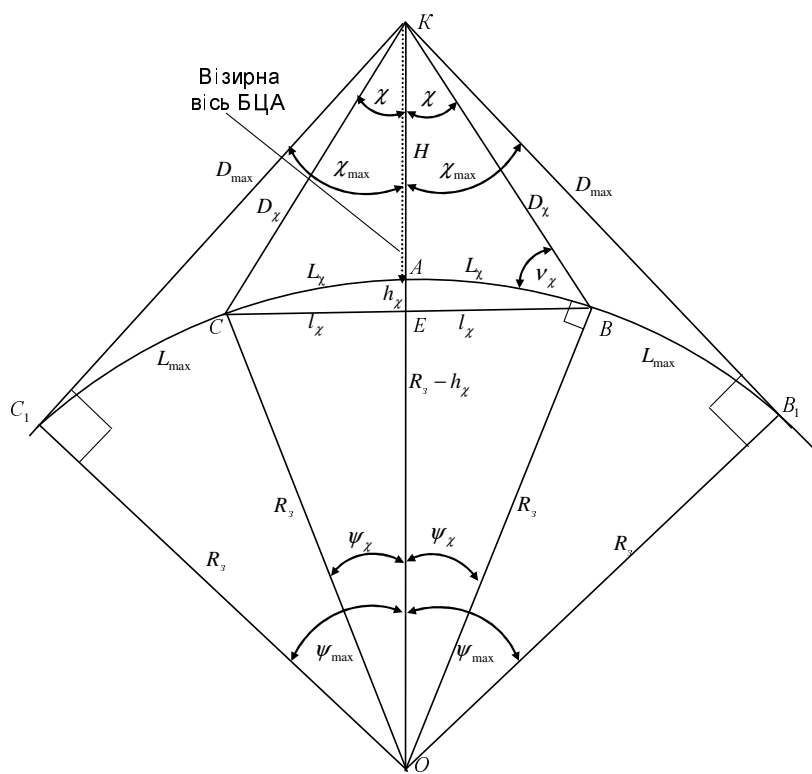


Рис. 1. До ситуації спостережень у надир сферичної Землі кінчною зоною огляду KA

Для досягнення поставленої мети розіб'ємо завдання на дві частини. Спочатку дослідимо завдання спостереження за НО на **необертовій сферичній** Землі, а далі врахуємо особливості, обумовлені реальними умовами (обертюва несферична Земля).

Поняття «необертюва Земля» означає, що її кутова швидкість обертання навколо власної осі $\omega_3 \approx 0$, а «сферична» – що Земля має форму сфери з радіусом $R_3 = 6371$ км.

Такі допущення прийнятні в ряді практичних завдань на невеликих інтервалах часу, а також як методичний прийом наукових досліджень, коли розв'язуються складні завдання, що потребують послідовного аналізу з подальшим ускладненням.

Методика розрахунків ширини смуги огляду. Ширину смуги огляду можна вимірювати в лінійних L_χ або в кутових ψ_χ одиницях, а також у географічних координатах (географічну ширину) $\Delta\lambda_\chi$, тобто множиною параметрів:

$$\mathbf{Ш}_\chi = \{L_\chi, \psi_\chi, \Delta\lambda_\chi\}. \quad (1)$$

Лінійною шириною смуги огляду може слугувати довжина дуги (рис. 1):

$$L_\chi = 2L_\chi = 2R_3\psi_\chi, \quad (2)$$

де ψ_χ – центральний кут, що опирається на половину дуги проекції зони огляду $L_\chi = AB = AC = R_3\psi_\chi$.

Кут ψ_χ являє собою половину *кутової ширини* смуги огляду. Його можна знайти із трикутника OKB (рис. 1) на основі теореми синусів [9]:

$$\frac{R_3}{\sin \chi} = \frac{R_3 + H}{\sin(0,5\pi + \nu_\chi)} = \frac{D_\chi}{\sin \psi_\chi}, \quad (3)$$

де $D_\chi = D(\chi, H) = KB = KC$ – максимальна дальність від KA до поверхні Землі в межах зони огляду (дальність візування); $\nu_\chi = \nu(\chi, H)$ – кут візування земної поверхні.

Якщо скористатись відомим [9] співвідношенням $\sin(0,5\pi + \nu_\chi) = \cos \nu_\chi$, то з виразу (3) можна знайти значення кута візування земної поверхні як:

$$\nu_\chi = \arccos\left(\frac{R_s + H}{R_s} \sin \chi\right). \quad (4)$$

Використовуючи (4) та співвідношення для суми кутів [9] трикутника OBK $\psi_\chi + \chi + (0,5\pi + \nu_\chi) = \pi$, можна знайти центральний кут:

$$\psi_\chi = \arcsin\left(\frac{R_c + H}{R_\zeta} \sin \chi\right) - \chi = 0,5\pi - \arccos\left(\frac{R_c + H}{R_\zeta} \sin \chi\right) - \chi, \quad (5)$$

а далі розрахувати **кутову ширину смуги огляду**:

$$\psi_o = 2\psi_\chi. \quad (6)$$

Граничні геометричні можливості спостереження за поверхнею Землі з висоти H характеризує максимальний кут ψ_{\max} , який можна знайти із прямокутних трикутників OC_1K або OB_1K (рис. 1) за формулою:

$$\psi_{\max} = \arccos[R_s / (R_s + H)]. \quad (7)$$

Використовуючи значення кута (7) та враховуючи, що $\psi_{\max} = 0,5\pi - \chi_{\max}$, можна знайти *максимально* можливий лінійний розмір смуги огляду:

$$L_{o\max} = C_1 B_1 = 2R_s \psi_{\max} = 2R_s (0,5\pi - \chi_{\max}). \quad (8)$$

При цьому, як видно з рисунку 1, граничне значення кута поля зору БЦА:

$$\chi_{\max} = 0,5\pi - \psi_{\max} = 0,5\pi - \arccos[R_s / (R_s + H)]. \quad (9)$$

Отримані максимальні значення слід використовувати під час розрахунків як обмеження виду $\chi \leq \chi_{\max}$, $\psi_\chi \leq \psi_{\max}$, $L_\chi \leq L_{\max}$.

Поряд із введеними параметрами смуги огляду на практиці часто необхідно знати її **географічну ширину**, тобто ширину вздовж паралелі з географічною широтою φ при фіксованих параметрах χ , ψ_χ , H та нахиленні орбіти i :

$$\Delta\lambda_*(\varphi) = \lambda_*^n(\varphi) - \lambda_*^l(\varphi), \quad (10)$$

де $\lambda_*^n(\varphi)$ і $\lambda_*^l(\varphi)$ – географічна довгота правої і лівої відносно траси КА меж смуги огляду на широті φ .

Ширину смуги огляду у вигляді (10) зручно використовувати в завданнях спостереження Землі, оскільки координати НО та їх розміри зазвичай задаються в географічних координатах. Дослідження показали, що для розрахунків *географічної ширини* смуги огляду необхідно залежно від співвідношення між значеннями географічної широти ПТ φ , нахилення орбіти i та центрального кута ψ_χ розглянути окремо ситуації, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Варіанти ситуацій для розрахунків ширини смуги огляду $\Delta\lambda'_*(\varphi)$

Діапазон значень кутів	Діапазон значень тригонометричних функцій кутів	
	$\sin \varphi > \operatorname{tg} i \sin \psi_\chi$	$\sin \varphi < \operatorname{tg} i \sin \psi_\chi$
$0 \leq \varphi \leq (i - \psi_\chi)$	$\Delta\lambda'_1(\varphi)$	$\Delta\lambda'_2(\varphi)$
$(i - \psi_\chi) \leq \varphi \leq (i + \psi_\chi)$	$\Delta\lambda'_3(\varphi)$	$\Delta\lambda'_4(\varphi)$

Зокрема, для діапазону географічних широт $0 \leq \varphi \leq (i - \psi_\chi)$ при $\sin \varphi > \operatorname{tg} i \sin \psi_\chi$ ширина смуги огляду може бути знайдена як:

$$\Delta\lambda'_1(\varphi) = \arccos\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} i} - \frac{\sin \psi_\chi}{\cos \varphi}\right) - \arccos\left(\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} i} + \frac{\sin \psi_\chi}{\sin i \cos \varphi}\right), \quad (11)$$

де $\varphi = \varphi_j = \varphi(t_j)$ – поточна географічна широта ПТ.

Для розрахунків значень φ_j можна скористатися формулою [2]:

$$\varphi_j = \varphi(t_j) = \arcsin[\sin u(t_j) \cdot \sin i], \quad (12)$$

де $u(t_j)$ – поточне значення аргументу широти КА.

Для діапазону географічних широт $0 \leq \varphi \leq (i - \psi_\chi)$ при $\sin \varphi < \operatorname{tg} i \sin \psi_\chi$ ширину смуги огляду можна обчислити за формулою:

$$\Delta\lambda'_2(\varphi) = \pi - \left[\arccos\left(\frac{\sin\psi_\chi}{\sin i \cos\varphi} - \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tgi}}\right) + \arccos\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tgi}} + \frac{\sin\psi_\chi}{\sin i \cos\varphi}\right) \right]. \quad (13)$$

Ширина смуги огляду для діапазону географічних широт $(i - \psi_\chi) \leq \varphi \leq (i + \psi_\chi)$ при $\sin\varphi > \operatorname{tgi} \sin\psi_\chi$ може бути знайдена як:

$$\Delta\lambda'_3(\varphi) = \arccos\left(\frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tgi}} - \frac{\sin\psi_\chi}{\sin i \cos\varphi}\right). \quad (14)$$

І, нарешті, ширину смуги огляду для діапазону географічних широт $(i - \psi_\chi) \leq \varphi \leq (i + \psi_\chi)$ при $\sin\varphi < \operatorname{tgi} \sin\psi_\chi$ можна розрахувати за формулою:

$$\Delta\lambda'_4(\varphi) = \pi - \arccos\left(\frac{\sin\psi_\chi}{\sin i \cos\varphi} - \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tgi}}\right). \quad (15)$$

Оскільки розглядається ситуація з необертовою Землею, то при цьому траса КА становитиме собою замкнуту лінію (великий круг на поверхні Землі), а смуга огляду на наступних витках орбіти накладатиметься на попередні смуги.

Методика визначення географічного положення смуги огляду. Прийmemo, що смуга огляду розташована симетрично відносно траси КА. Тоді *географічне положення* смуги огляду на *необерттовій* Землі при спостереженнях у *надир* можна визначити як географічну довготу її лівої та правої меж (рис. 2). При цьому безпосередньо з рисунка 2 ці межі можна визначити як:

$$\lambda'_n(\varphi) = \lambda - 0,5\Delta\lambda'_*(\varphi); \quad (16)$$

$$\lambda'_l(\varphi) = \lambda + 0,5\Delta\lambda'_*(\varphi), \quad (17)$$

де нижні індекси l означають «необерттова» (Земля), а верхні: l – ліва, n – права межі; $\lambda = \lambda_j = \lambda(t_j)$ – географічна довгота ПТ, розрахована в геоцентричній сферичній системі координат для моментів часу t_j ; $\Delta\lambda'_*(\varphi) = \Delta\lambda'_*(\varphi_j) = \Delta\lambda'_*(\varphi(t_j))$ – географічна ширина смуги огляду, знайдена з (11)–(14) для моментів часу t_j .

Для розрахунків географічної довготи ПТ можна скористатися математичним апаратом, наведеним у [2], пристосувавши його для необерттової Землі у вигляді:

$$\lambda_j = \lambda(t_j) = \Omega + \delta\lambda(t_j), \quad \delta\lambda(t_j) = \operatorname{arctg}[\operatorname{tg} u(t_j) \cos i],$$

де Ω – інерціальна довгота висхідного вузла (ВВ) орбіти; t_j – поточний час польоту КА, відлічуваний від моменту знаходження КА у ВВ t_Ω ; $\delta\lambda(t_j)$ – поточні зміни географічної довготи ПТ.

Особливості спостереження за НО на обертовій несферичній Землі. Через обертання Землі траса КА становитиме собою незамкнуту лінію, а смуга огляду на наступних витках орбіти зміщуватиметься відносно попередніх смуг.

Можна показати, що за рахунок **обертання** Землі **географічна ширина** смуги огляду, розрахована за (11)–(15), залежно від нахилення орбіти i та сидеричного періоду обертання КА T , змінюється на величину:

$$\delta\lambda_\tau = \frac{\dot{\varphi}}{\dot{\varphi}_{\text{сд}}} \left[\arcsin\left(\frac{\sin\varphi}{\sin i \cos\psi_\chi} + \frac{\operatorname{tg}\psi_\chi}{\operatorname{tgi}}\right) - \arcsin\left(\frac{\sin\varphi}{\sin i \cos\psi_\chi} - \frac{\operatorname{tg}\psi_\chi}{\operatorname{tgi}}\right) \right], \quad (18)$$

де $T_{\text{сд}} = 86164^{\text{с}}$ – тривалість зоряної доби в середньосонячних секундах.

Тоді з урахуванням виразу (18) *географічна ширина* смуги огляду на обертовій Землі:

$$\Delta\lambda_{\text{ос}}(\varphi) = \Delta\lambda'_*(\varphi) \pm \delta\lambda_\tau, \quad (19)$$

де $\Delta\lambda'_*(\varphi)$ – географічна ширина смуги огляду на необерттовій Землі, розрахована за будь-якою з формул (11)–(14), тобто при $*$ = {1,2,3,4};

знак «+» береться для випадку зворотних орбіт ($i > 0,5\pi$), а «-» – для випадку прямих орбіт ($i < 0,5\pi$).

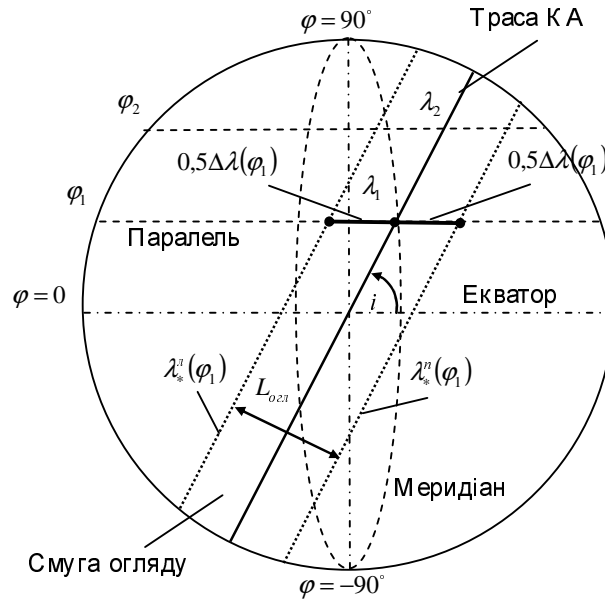


Рис. 2. До визначення географічного положення смуги огляду

У такому разі **географічне положення** смуги огляду на *обертотій* Землі за аналогією із виразами (16) і (17) можна визначати з урахуванням формули (19) як:

$$\lambda_{o*}^a(\varphi) = \lambda - 0,5\Delta\lambda_{o*}(\varphi) = \lambda - 0,5[\Delta\lambda'_*(\varphi) - \delta\lambda_o]; \quad (20)$$

$$\lambda_{o*}^b(\varphi) = \lambda + 0,5\Delta\lambda_{o*}(\varphi) = \lambda + 0,5[\Delta\lambda'_*(\varphi) - \delta\lambda_o]. \quad (21)$$

За рахунок **несферичності** Землі виникає прецесія лінії вузлів за виток [2]:

$$\Delta\Omega_a = 2\pi\varepsilon \frac{R_3^2}{p^2} \cos i, \quad (22)$$

де p – фокальний параметр орбіти;

$$\varepsilon = \varepsilon_3 / \mu_0 R_3^2 \approx 0,00164;$$

$$\varepsilon_3 = 2,634 \cdot 10^{10} \text{ км}^5 / \text{с}^2 \text{ – константа для еліпсоїда Землі.}$$

Внаслідок цього для *колової* орбіти з висотою H_o зміни географічної ширини смуги огляду на несферичній Землі становитимуть:

$$\delta\lambda_\varepsilon = \varepsilon \left(\frac{R}{R + H_i} \right)^2 \cos i \left[\arcsin \left(\frac{\sin \varphi}{\sin i \cos \psi_\chi} + \frac{\text{tg } \psi_\chi}{\text{tgi}} \right) - \arcsin \left(\frac{\sin \varphi}{\sin i \cos \psi_\chi} - \frac{\text{tg } \psi_\chi}{\text{tgi}} \right) \right]. \quad (23)$$

Тоді з урахуванням (23) **географічна ширин** смуги огляду БЦА внаслідок прецесії лінії вузлів становитиме:

$$\Delta\lambda_\varepsilon(\varphi) = \Delta\lambda'_*(\varphi) - \delta\lambda_\varepsilon. \quad (24)$$

Через це **географічне положення** смуги огляду на *несферичній* Землі за аналогією із (20) і (21) необхідно визначати з урахуванням (24) як:

$$\lambda_{o*}^a(\varphi) = \lambda - 0,5\Delta\lambda_{\varepsilon*}(\varphi) = \lambda - 0,5[\Delta\lambda'_*(\varphi) - \delta\lambda_\varepsilon]; \quad (25)$$

$$\lambda_{o*}^b(\varphi) = \lambda + 0,5\Delta\lambda_{\varepsilon*}(\varphi) = \lambda + 0,5[\Delta\lambda'_*(\varphi) - \delta\lambda_\varepsilon]. \quad (26)$$

З урахуванням (19) і (24) отримаємо **географічну ширину** смуги огляду:

$$\Delta\lambda_{o\varepsilon}(\varphi) = \Delta\lambda'_*(\varphi) \pm \delta\lambda_o - \delta\lambda_\varepsilon. \quad (27)$$

Підставивши у (27) значення її складових (19) і (24), отримаємо для діапазону географічних широт ПТ $0 \leq \varphi_i \leq (i - \psi_\chi)$:

$$\Delta\lambda_{i\varepsilon}(\varphi_2) = \Delta\lambda'_*(\varphi_2) - \left[\arcsin \left(\frac{\sin \varphi_2}{\sin i \cos \psi_\chi} + \frac{\text{tg } \psi_\chi}{\text{tgi}} \right) - \arcsin \left(\frac{\sin \varphi_2}{\sin i \cos \psi_\chi} - \frac{\text{tg } \psi_\chi}{\text{tgi}} \right) \right] \times \left[\frac{T}{T_{\text{c}i}} + \varepsilon \left(\frac{R_\varepsilon}{R_\varepsilon + H_o} \right)^2 \cos i \right]. \quad (28)$$

При подальшому зростанні географічної широти ПТ можливі два випадки:

а) межа смуги огляду не досягає полюса Землі, тобто $(i + \psi_\chi) \leq 0,5\pi$;

б) межа смуги огляду переходить за полюс Землі, тобто $(i + \psi_\chi) > 0,5\pi$.

У першому випадку для діапазону географічних широт ПТ $(i - \psi_\chi) \leq \varphi \leq (i + \psi_\chi)$ географічну ширину смуги огляду слід розраховувати за формулою:

$$\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}(\varphi_{\text{II}}) = \arccos\left(\frac{\text{tg}\varphi_{\text{II}} - \frac{\sin\psi_\chi}{\sin i \cos\varphi_{\text{II}}}}{\text{tgi}}\right) - \frac{\zeta}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin\left(\frac{\sin\varphi_{\text{II}}}{\sin i \cos\psi_\chi} - \frac{\text{tg}\psi_\chi}{\text{tgi}}\right) \right], \quad (29)$$

де $\zeta = 2\pi \frac{T}{T_{\text{з}}}$ + $\Delta\Omega_e$ – параметр, що враховує обертання Землі та її несферичність.

Аналіз формули (29) показує, що при зростанні географічної широти ПТ φ_{II} географічна ширина смуги огляду $\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}(\varphi_{\text{II}})$ зменшується і при $\varphi_{\text{II}} = (i + \psi_\chi)$ досягає мінімуму $\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}(\varphi_{\text{II}}) = 0$ (рис. 3, а).

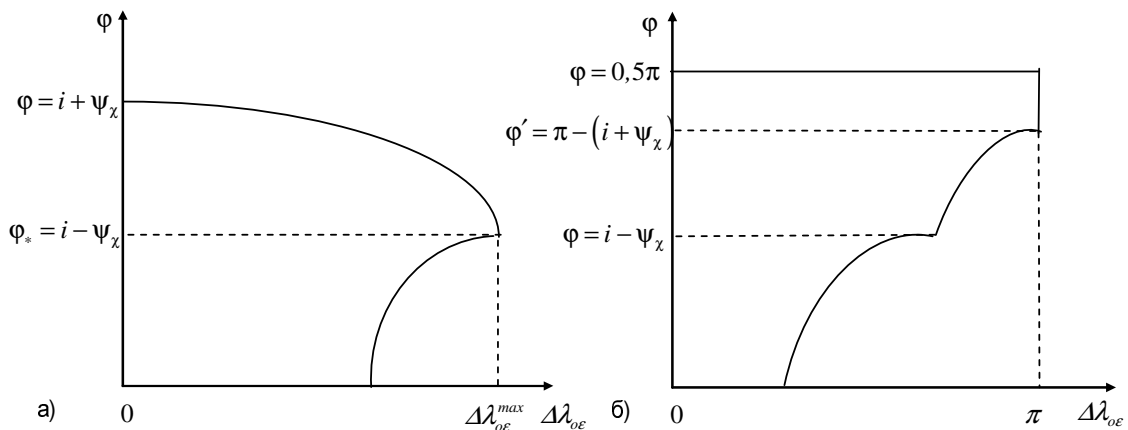


Рис. 3. Графіки залежності ширини смуги огляду від географічної широти

Якщо у (28) або (29) підставити значення географічної широти ПТ $\varphi_* = (i - \psi_\chi)$, то отримаємо максимальне значення географічної ширини смуги огляду:

$$\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}^{\text{max}}(\varphi_*) = \arccos\left[1 - \frac{2\sin\psi_\chi}{\sin i \cos(i - \psi_\chi)}\right] - \frac{\zeta}{2\pi} \arccos\left(1 - \frac{2\text{tg}\psi_\chi}{\text{tgi}}\right). \quad (30)$$

У другому випадку для діапазону географічних широт ПТ $0 \leq \varphi_{\text{III}} \leq (i - \psi_\chi)$ географічну ширину смуги огляду можна розрахувати за (28). При цьому на інтервалі географічних широт ПТ $(i - \psi_\chi) \leq \varphi_{\text{III}} \leq [\pi - (i + \psi_\chi)]$ вона зростатиме за законом (29), а на широті $\varphi_{\text{III}} = \pi - (i + \psi_\chi)$ – досягне максимального значення $\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}^{\text{max}}(\varphi_{\text{III}}) = \pi$ (рис. 3, б).

При подальшому зростанні широти аж до полюса Землі географічна ширина смуги не змінюватиметься і становитиме $\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}^{\text{max}}(\varphi_{\text{III}}) = \pi$.

На підставі викладеного **географічне положення** смуги огляду на **обертійній несферичній** Землі за аналогією із (20) і (21) необхідно визначити з урахуванням (30) як:

$$\lambda_{\text{I}\varepsilon}^n(\varphi) = \lambda - 0,5\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}(\varphi) = \lambda - 0,5[\Delta\lambda'(\varphi) - \delta\lambda_o - \delta\lambda_\varepsilon]; \quad (31)$$

$$\lambda_{\text{I}\varepsilon}^n(\varphi) = \lambda + 0,5\Delta\lambda_{\text{I}\varepsilon}(\varphi) = \lambda + 0,5[\Delta\lambda'(\varphi) - \delta\lambda_o - \delta\lambda_\varepsilon]. \quad (32)$$

Висновки:

1. Запропонований науково-методичний апарат для розрахунків ширини і географічного положення смуги огляду може бути основою для моделювання процесів при детальних космічних спостереженнях Землі в надир.

2. Потребує подальшого розвитку аналогічний науково-методичний апарат для моделювання процесів детальних космічних спостережень Землі при відворотах поля зору БЦА від надира, що є предметом подальших досліджень автора.

Список використаної літератури:

1. Сучасні космічні системи оптичної зйомки Землі : навчальний посібник / А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, В.І. Богом'я та ін. – К. : НАОУ, 2004. – 93 с.
2. Фриз П.В. Основи орбітального руху космічних апаратів : підручник / П.В. Фриз. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 348 с.
3. Дистанционное зондирование Земли из космоса: получение и использование информации : монография / Е.И. Бушуев, В.И. Волошин, Е.И. Капустин и др. ; под общ. ред. С.П. Мосова. – Днепропетровск : Стилус, 2012. – 320 с.
4. Фриз С.П. Алгоритм розрахунку площі контрольованої частини заданого району при проведенні зйомки з космічних апаратів / С.П. Фриз // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – № 1(60). – С. 69–77.
5. Фриз С.П. Можливий підхід до планування спостережень космічними апаратами / С.П. Фриз, В.В. Петрожалко, В.В. Ожінський // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – Вип. 4. – С. 87–96.
6. Дистанційне зондування Землі. Терміни та визначення понять: ДСТУ 4220–2003. – [Чинний від 2004–10–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 17 с. – (Національний стандарт України).
7. Фриз П.В. Систематизований математичний апарат для розрахунків розмірів контрольованих ділянок земної поверхні при космічних спостереженнях кінчною зоною огляду в надир / П.В. Фриз // Вісник ЖДТУ : Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – № 4(63). – С. 118–127.
8. Фриз П.В. Удосконалений математичний апарат для розрахунків розмірів контрольованої ділянки земної поверхні при космічних спостереженнях пірамідальною зоною огляду / П.В. Фриз // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – Вип. 6. – С. 113–127.
9. Большой энциклопедический словарь. Математика / глав. ред. Ю.В. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Большая Российская энциклопедия, 2000. – 848 с.

ФРИЗ Петро Васильович – заслужений працівник освіти України, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри геоінформаційних і космічних систем Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

- ефективність функціонування космічних систем;
- моделювання процесів у космічних системах.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2014