

О. Ф. Дубина, О. В. Андреев, Т. М. Нікітчук, І. В. Пулеко, С. С. Гаценко,
В. В. Клязника

СИНТЕЗУВАННЯ АПЕРТУРИ АНТЕНИ ЗА СИГНАЛАМИ НАЗЕМНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ З КОСМІЧНОГО НОСІЯ

На сьогоднішній день одним із пріоритетних напрямків аерокосмічної галузі України є створення ефективної аерокосмічної розвідки. Дистанційне зондування Землі в оптичному діапазоні надає можливість отримувати знімки земної поверхні для використання їх у військовій сфері, народному господарстві. Для цього застосовують різноманітні датчики, які, як правило, реєструють випромінювання, відбите від поверхні Землі й об'єктів, розташованих на ній. Огляд земної поверхні з космічних апаратів у радіодіапазоні дозволяє вирішувати широке коло завдань. При цьому антена опромінює земну поверхню радіосигналом із відомими параметрами і приймає відбитий від поверхні сигнал на порівняно великій ділянці траєкторії руху носія. З метою бокового огляду земної поверхні для підвищення кутового розділення за шляховою дальністю набув широкого використання штучний синтез апертури антени. Штучне синтезування апертури антени здійснюється на етапі когерентної або некогерентної обробки відбитого сигналу на певній ділянці траєкторії руху носія. При цьому параметри опорного траєкторного сигналу вважаються відомими з точністю до випадкової фази. На відміну від класичних активних методів синтезу апертури антени, які передбачають наявність інформації про параметри сигналу, що випромінюється, для пасивного методу параметри прийнятого сигналу визначаються типом джерела радіовипромінювання, тобто вони є апріорно невідомими. За пасивного синтезування апертури антени за сигналами наземних радіолокаційних станцій як максимально можливий розмір синтезованої апертури, так й умови однозначності визначення азимутального напрямку на джерело радіовипромінювання залежать від параметрів сигналу, що випромінює радіолокаційна станція. У статті проаналізовано параметри орбіти космічного апарата, за яких забезпечується виконання умови однозначності визначення азимутального напрямку на джерело радіовипромінювання та обчислюється роздільна здатність за шляховою дальністю при пасивному синтезуванні апертури антени за сигналами типових радіолокаційних станцій, що працюють в імпульсному режимі.

Ключові слова: джерело радіовипромінювання; космічний апарат; роздільна здатність; синтезування апертури антени.

Постановка проблеми в загальному вигляді. На сьогоднішній день одним із пріоритетних напрямків аерокосмічної галузі України є створення ефективної аерокосмічної розвідки [1]. Концепція Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2021–2025 роки передбачає використання космічної інформації, зокрема, для забезпечення реалізації інтересів держави у сфері національної

© О. Ф. Дубина, О. В. Андреев, Т. М. Нікітчук, І. В. Пулеко, С. С. Гаценко, В. В. Клязника, 2022

безпеки та оборони [2]. Огляд земної поверхні з космічних апаратів (КА) у різних діапазонах дозволяє вирішувати широке коло завдань [3]. У радіодіапазоні антена опромінює земну поверхню і приймає відбитий сигнал на порівняно великій ділянці траєкторії руху носія. Принципи побудови бортових радіолокаційних станцій (РЛС), які використовують дану ділянку траєкторії як штучний (синтезований) розкрит антен, що дозволяє істотно збільшити роздільну здатність РЛС за азимутом (шляховою дальністю), розглянуті, наприклад, у [4–6]. Синтезування апертури антени можливо також за сигналами зовнішніх джерел радіовипромінювання (ДРВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час у літературі аналізується можливість пасивного синтезування апертури антени за сигналами телевізійного мовлення, супутникових систем або джерел радіоастрономічного випромінювання [7–10]. На відміну від класичних активних методів синтезу апертури антени, які передбачають наявність інформації про параметри опорного сигналу, за пасивного методу синтезу параметри прийнятих радіосигналів заздалегідь невідомі. Тому в [11] запропоновано метод визначення дальності до ДРВ, який базується на обчисленні модуля кореляційного інтеграла між траєкторним сигналом, що приймається в процесі руху носія антени відносно ДРВ, розташованого в певній точці земної поверхні, та відповідної опорної функції на інтервалі синтезування.

Особливостями пасивного синтезування апертури антени (ПСАА) за сигналами наземних РЛС є те, що параметри синтезованої апертури залежать від довжини хвилі й періоду слідування імпульсів, які визначаються характеристиками цих РЛС. Отже, вигляд тіла невизначеності траєкторного сигналу, яке безпосередньо впливає на можливість однозначного виміру азимутального напрямку на ДРВ, суттєво залежить від параметрів сигналу, що випромінює РЛС [6, 12]. При цьому оцінка можливості забезпечення умови однозначності вимірів за азимутом за ПСАА для імпульсного режиму роботи РЛС в [11] не проводилася.

Формулювання завдання дослідження. У статті проведено аналіз можливості виконання умов однозначного виміру азимутального напрямку на ДРВ в разі ПСАА за сигналами типових імпульсних РЛС. **Метою** статті є аналіз і вибір параметрів орбіти КА, за яких забезпечується виконання умови однозначності визначення азимутального напрямку на ДРВ та обчислення роздільної здатності за шляховою дальністю радіолокатора з ПСАА за сигналами типових РЛС.

Виклад основного матеріалу. Для забезпечення високої роздільної здатності за похилою дальністю більшість РЛС використовують імпульсні зондувальні сигнали [13, 14]. Оскільки радіоімпульси мають період слідування T_{II} , то РЛС, що розташовується в точці А (0, у, 0) земної поверхні (рис. 1), створює на вході приймача траєкторний сигнал, який має вигляд послідовності радіоімпульсів з періодом слідування T_{II} .

У радіодіапазоні довжина відрізка шляху носія, протягом якого приймається сигнал, залежить від висоти КА H , ширини діаграми спрямованості (ДС) бортової антени Θ_a і кута відхилення її осі від надира γ , тобто $X_0 \approx R \cdot \Theta_a$ [6].

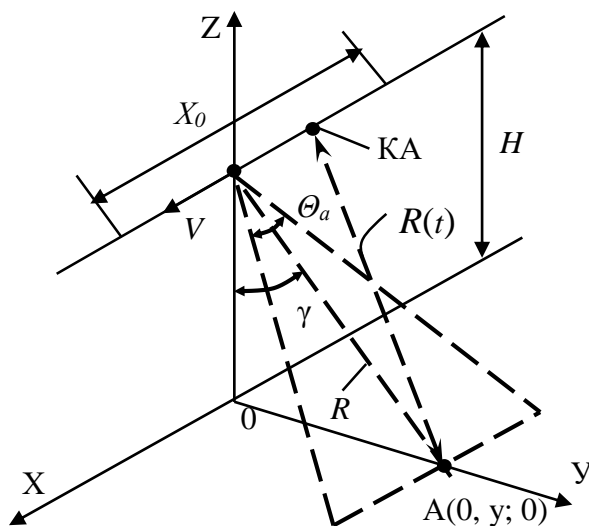


Рис. 1

Якщо КА рухається зі швидкістю V , то затримка радіосигналу за розповсюдження від ДРВ до входу приймача визначається таким чином:

$$\tau = \frac{R(t)}{c}; \quad R(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2 + H^2},$$

де $x(t) = V \cdot t$ – поточна координата носія уздовж осі X;

c – швидкість світла.

Якщо РЛС випромінює сигнал довжиною хвилі λ , то, згідно з [5], однозначність вимірів за азимутом буде забезпечена в тому випадку, коли лінійний розмір ДС бортової антени $X_0 = \lambda R / d_a$ (див. рис. 2) буде меншим, ніж відстань між сусідніми максимумами ДС синтезованої антени $\lambda R / (VT_H)$, тобто

$$\lambda R / (VT_H) \geq \lambda R / d_a. \quad (1)$$

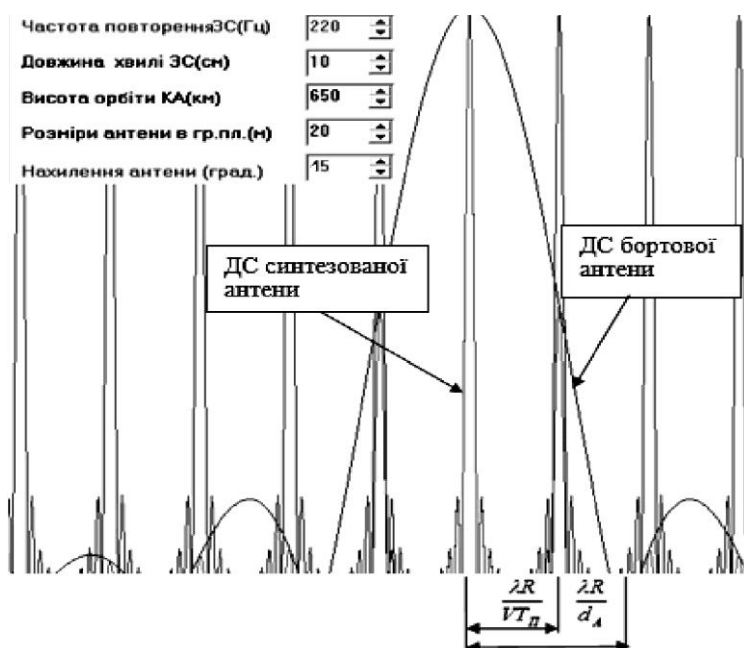


Рис. 2

Тому в разі зміни періоду слідування імпульсів РЛС умови однозначності вимірів за шляховою дальністю також будуть змінюватися. Виконання умови (1) вимагає, щоб розмір реальної бортової антени d_a був не меншим, ніж відстань, яку проходить КА за період слідування імпульсів РЛС:

$$d_a \geq VT_{\Pi}. \quad (2)$$

Отже, розмір реальної бортової антени та висота польоту КА повинні бути підібрані таким чином, щоб за ПСАА було б можливо визначати місцеположення цілої низки РЛС із забезпеченням умови однозначності вимірів за азимутом. Тобто в процесі моделювання з метою визначення можливості практичного використання ПСАА можна обирати лише розмір реальної бортової антени та висоту польоту КА.

Як типові ДРВ розглянемо наземні РЛС протиповітряної оборони, тактико-технічні характеристики яких наведені в [13]. Аналіз характеристик РЛС показав, що вони можуть бути поєднані в групи відповідно до робочої довжини хвилі, на кожній з яких можлива зміна частоти слідування імпульсів F_{Π} . Більшість засобів працюють з довжиною хвилі 23 см ($F_{\Pi} = 180$ Гц, 200 Гц, 220 Гц, 270 Гц, 360 Гц, 400 Гц, 680 Гц), 10 см ($F_{\Pi} = 200$ Гц, 220 Гц, 223 Гц, 250 Гц, 300 Гц, 323 Гц, 330 Гц, 400 Гц, 1000 Гц), 5 см ($F_{\Pi} = 330$ Гц) та 19 см ($F_{\Pi} = 250$ Гц).

Перевіримо шляхом моделювання можливість забезпечення умови однозначності вимірів за азимутом за ПСАА для групи РЛС, що випромінюють сигнал з довжиною хвилі 10 см, для різних значень частот слідування імпульсів, у разі руху КА навколо Землі коловою орбітою з висотою 650 км, що відповідає умовам моделювання, яке проводилося в [11].

Відомо, що швидкість руху КА залежить від висоти орбіти і визначається згідно з таким виразом [12]:

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R_z + H}}, \quad (3)$$

де G – гравітаційна стала;

M – маса Землі;

R_z – радіус Землі.

Розрахунки проведені відповідно до рівняння (3) показують, що швидкість КА, який рухається навколо Землі коловою орбітою з висотою 650 км, дорівнює 7,5 км/с. Тоді для максимальної частоти слідування імпульсів РЛС, яка дорівнює 1000 Гц, розмір реальної бортової антени повинен, згідно з (2), бути не меншим ніж 7,5 м. Вигляд ДС реальної бортової антени з розміром 8 м та ДС ПСАА, що були отримані шляхом моделювання, наведено на рис. 3. Як видно, для даного випадку виконуються умови однозначності вимірів за азимутом. У той же час, аналізуючи рис. 2, на якому наведено результати моделювання для частоти слідування імпульсів РЛС 220 Гц, можна зробити висновок, що умови однозначності вимірів за азимутом не виконуються навіть за використання бортової антени з розміром 20 м.

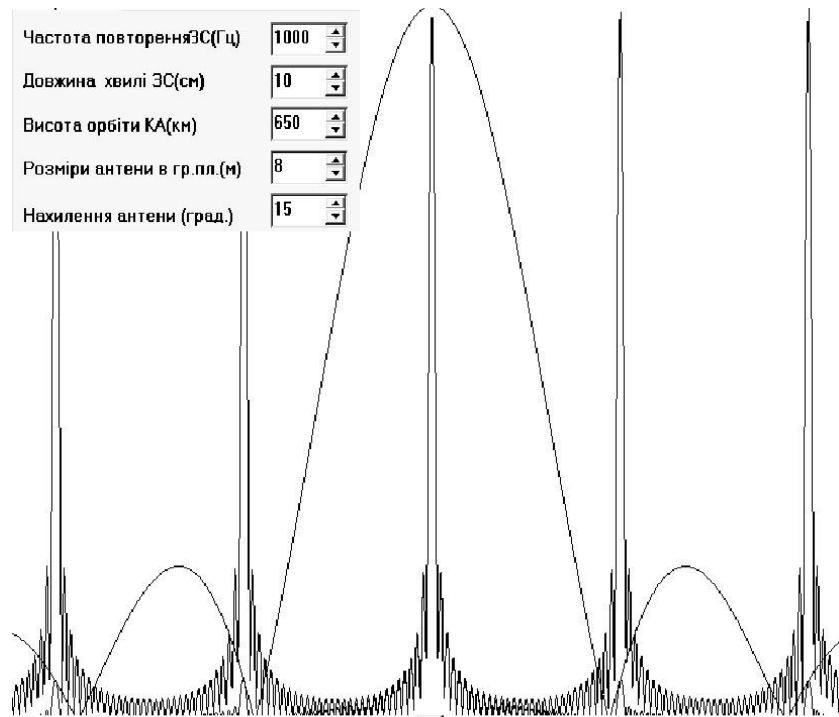


Рис. 3

Досягти виконання умови (2) для даного випадку можливо через зменшення швидкості руху КА шляхом збільшення висоти його орбіти. Якщо припустити, що розмір бортової антени не повинен перевищувати 20 м, то для частоти слідування імпульсів РЛС 220 Гц швидкість руху КА не повинна перевищувати 4,4 км/с, що, згідно з рівнянням (3), відповідає висоті орбіти КА 14200 км.

Отже, для визначення параметрів радіолокатора з ПСАА будемо вважати, що КА рухається навколо Землі коловою орбітою з висотою 14200 км з нахилом орбіти 45° , а РЛС використовує зондувальний сигнал із частотою слідування імпульсів 220 Гц та здійснює коловий огляд простору зі швидкістю 8 об/хв ($T_{об} = 7,5$ с) за ширини ДС антени в азимутальній площині $1,3^\circ$ та 30° – у кутомісній [13].

Визначення можливості здійснення ПСАА за сигналами наземних РЛС можна провести відповідно до такої методики.

1. Розраховуємо час, протягом якого РЛС, розташована на максимальній дальності R від КА, буде знаходитися в межах ДС бортової антени:

$$\Delta T = \frac{\lambda R}{d_a V}.$$

2. Встановлюємо кількість обертів ДС РЛС за час знаходження в межах ДС бортової антени:

$$N = \frac{\Delta T}{T_{об}}.$$

3. Визначаємо час T_c , протягом якого на вхід приймача за ПСАА будуть надходити імпульси РЛС за один оберт антени.

4. Розраховуємо кількість імпульсів, які надійдуть на вхід приймача в разі ПСАА за один оберт антени РЛС:

$$N_i = \frac{T_c}{T_{\Pi}}.$$

5. Обчислюємо довжину ПСАА:

$$L_c = T_c V.$$

6. Розраховуємо роздільну здатність радіолокатора з неспроєктованою ПСАА за шляховою дальністю на дальній межі смуги огляду:

$$\delta R = \frac{\lambda R}{L_c}.$$

Результати проведених розрахунків за наведеною методикою для РЛС, що випромінюють сигнал з довжиною хвилі $\lambda = 10$ см та $\lambda = 23$ см, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків для $d_a = 20$ м та $F_{\Pi} = 220$ Гц

Довжина хвилі РЛС, м	Найменування параметра					
	ΔT , с	N	T_c , с	N_i	L_c , м	δR , км
10	19,8	2,6	0,027	6	119	14,6
23	45,5	6				33,6

Як видно з даних, наведених у табл. 1, синтезування апертури антени відбувається протягом $T_c = 0,027$ с, що набагато менше часу знаходження РЛС у межах ДС бортової антени ΔT , який визначає максимальний час синтезування апертури антени за активного методу синтезу. Отже, враховуючи обмеження на максимальну довжину синтезованої неспроєктованої апертури антени [5], здійснити ПСАА можливо лише за кількістю імпульсів $N_i = 6$, які надходять на вхід приймача за один оберт антени РЛС, що забезпечує довжину синтезованої апертури антени $L_c = 119$ м. У свою чергу, роздільна здатність за шляховою дальністю не залежить від розмірів реальної бортової антени, вона буде змінюватись у разі зміни як довжини хвилі РЛС, так і розташування РЛС у межах зони огляду радіолокатора з ПСАА за горизонтальною дальністю. На дальній межі смуги огляду радіолокатора з ПСАА роздільна здатність за шляховою дальністю становить 14,6 км і 33,6 км для довжин хвиль 10 см та 23 см відповідно. При цьому ДС РЛС за час знаходження в межах ДС бортової антени здійснює від 2 до 6 обертів, які також можуть бути використані для повторного ПСАА з метою підвищення надійності та точності виміру кутового напрямку на ДРВ.

Вигляд ДС реальної бортової антени та ДС радіолокатора з ПСАА за шістьма імпульсами РЛС з мінімальною частотою слідування 220 Гц, що були отримані шляхом моделювання, для довжини хвилі 10 см наведено на рис. 4, а для довжини хвилі 23 см – на рис. 5. Аналіз рис. 4–5 показує, що бортова антена з розміром 20 м забезпечує виконання умов однозначності вимірів за азимутом за ПСАА і розміщення на КА з висотою орбіти 14200 км.

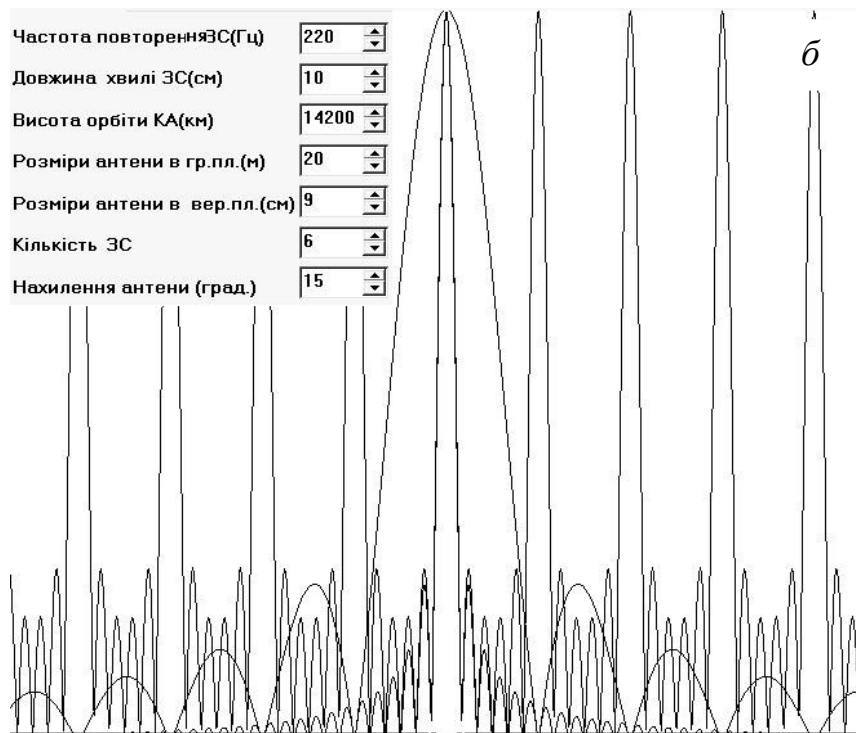


Рис. 4

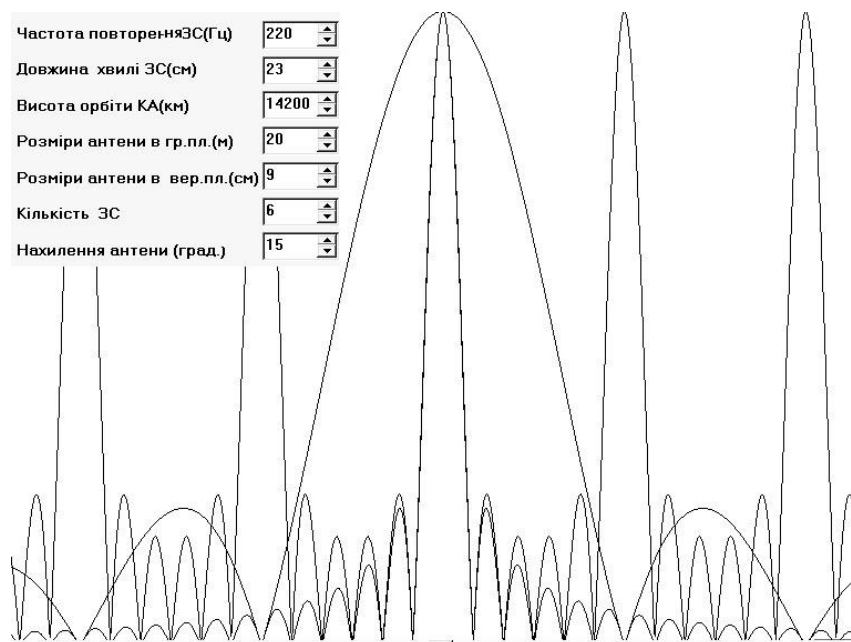


Рис. 5

Висновки. Для висоти орбіти КА 14200 км та розміру реальної бортової антени, що не перевищує 20 м, можливо забезпечити виконання умови однозначності визначення азимутального напрямку на ДРВ радіолокатором із ПСАА за сигналами типових РЛС протиповітряної оборони у 83% випадків від загальної кількості РЛС, що підлягали аналізу.

Роздільна здатність за шляховою дальністю радіолокатора з ПСАА залежить як від довжини хвилі ДРВ, так і від його розташування в межах зони огляду радіолокатора з ПСАА за горизонтальною дальністю. Потенційна роздільна здатність за шляховою дальністю радіолокатора з ПСАА обмежується максимальним можливим часом

синтезування, який набагато менше часу знаходження РЛС у межах ДС бортової антени. На дальній межі смуги огляду роздільна здатність за шляховою дальністю радіолокатора з ПСАА становить 14,6 км і 33,6 км для довжин хвиль 10 см та 23 см відповідно.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Мосов С. П. Аерокосмічна розвідка у сучасних військових конфліктах : монографія. Київ : Румб, 2008. 248 с.
2. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2021–2025 роки. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npras/pro-shvalennya-konceptsiyi-zagaln-a15r> (дата звернення: 18.06.2022).
3. Визначення точності виміру висот об'єктів при автоматичній обробці стереознімків / О. Ф. Дубина, О. В. Андреев, Т. М. Нікітчук, О. М. Свінцицька // Вісник Нац. техніч. ун-ту України «КПІ». Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2020. Вип. 82. С. 67–73. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.82.67-73>
4. Манойлов В. П., Омельчук В. В., Опанюк В. В. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації. Житомир : ЖДТУ, 2008. 384 с.
5. Казаринов Ю. М. Радиотехнические системы : учеб. для вузов. Москва, 2008. 592 с.
6. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др.; под ред. В. Т. Горяинова. Москва : Радио и связь, 1988. 304 с.
7. Passive Synthetic Aperture Radar Imaging Using Radio-Astronomical Sources / Sean Peters, Mark S. Haynes, Dustin M. Schroeder & Davide Castelletti // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. January 2021. P. (99):1–16. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2021.3050429>
8. Shumskii P. O., Meshcheryakov A. A. & Sharygin G. S. Passive synthesis of the antenna aperture for satellite systems // Russ Phys J. 2012. Vol. 55. P. 277–281. <https://doi.org/10.1007/s11182-012-9807-4>
9. Радиолокатор с синтезированной апертурой, паразитирующий на сигналах телевизионного вещания / А. В. Борисенков, О. В. Горячкин, В. Н. Долгополов и др. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiolokator-s-sintezirovannoy-aperturoy-parazitiruyuschiy-na-signalah-televizionnogo-veschaniya> (дата обращения: 10.06.2022).
10. Нгуен Ван Куан, Маркелова М. А., Веремьев В. И. Анализ возможности использования спутниковых сигналов подсвета для пассивной радиолокационной системы. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnosti-ispolzovaniya-sputnikovyh-signalov-podsveta-dlya-passivnoy-radiolokatsionnoy-sistemy> (дата обращения: 10.06.2022).
11. Андреев О. В., Топольницький П. П. Алгоритм пасивного синтезування апертури антени з рухомої платформи // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ ДУТ, 2014. Вип. 9. С. 85–92.
12. Фриз П. В. Основи побудови спеціальних комплексів космічної видової розвідки : підручник. Житомир : Вид-вець О. О. Євенок, 2020. 412 с.
13. Радиоэлектронные средства систем управления ПВО и ВВС : учебник / В. Д. Казаков и др. Москва : Воениздат, 1987. 216 с.

14. Піза Д. М., Семенов Д. С., Бугрова Т. І. Проектування радіолокаційних систем. Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. URL: <https://eir.zntu.edu.ua> (дата звернення: 10.06.2022).

Стаття надійшла до редакції 06.07.2022.

REFERENCES

1. Mosov, S. P. (2008). *Aerokosmichna rozvidka u suchasnykh viiskovykh konfliktakh [Aerospace intelligence in modern military conflicts]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. *Pro skhvalennia Kontseptsii Zahalnodержavnoi tsilovoi naukovo-tekhnichnoi kosmichnoi prohramy Ukrainy na 2021–2025 roky [On the approval of the Concept of the National targeted scientific and technical space program of Ukraine for 2021–2025]*. (n.d.). Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-koncepciyi-zagaln-a15r> [in Ukrainian].
3. Dubyna, O. F., Andreiev, O. V., Nikitchuk, T. M., & Svintsytska, O. M. (2020). Vyznachennia tochnosti vymiru vysot ob'ektiv pry avtomatychnii obrobtsi stereoznimkiv [Determining the accuracy of measuring the heights of objects during automatic processing of stereo images]. *Visnyk Nats. tekhnich. un-tu Ukrainy «KPI». Serii: Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia [Bulletin of the National technician KPI University of Ukraine. Series: Radio equipment. Radio equipment construction]*, 82, 67–73. <https://doi.org/10.20535/RADAP.2020.82.67-73> [in Ukrainian].
4. Manoilov, V. P., Omelchuk, V. V., & Opaniuk, V. V. (2008). *Dystantsiine zonduvannia Zemli iz kosmosu: naukovo-tekhnichni osnovy formuvannia y obrobky vydovoi informatsii [Remote sensing of the Earth from space: scientific and technical basis of formation and processing of species information]*. Zhytomyr [in Ukrainian].
5. Kazarinov, Iu. M. (2008). *Radiotekhnicheskie sistemy [Radio engineering systems]*. Moscow [in Russian].
6. Antipov, V. N., Goriainov, V. T., & Kulin, A. N. et al. (1988). *Radiolokatsionnye stantsii s tsifrovym sintezirovaniem apertury anteny [Radar stations with digital antenna aperture synthesis]*. Moscow [in Russian].
7. Sean Peters, Mark S. Haynes, Dustin M. Schroeder & Davide Castelletti. (2021). Passive Synthetic Aperture Radar Imaging Using Radio-Astronomical Sources. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. P. (99):1–16. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2021.3050429>
8. Shumskii, P. O., Meshcheryakov, A. A. & Sharygin, G. S. (2012). Passive synthesis of the antenna aperture for satellite systems. *Russ Phys J.*, 55, 277–281. <https://doi.org/10.1007/s11182-012-9807-4>
9. Borisenkov, A. V., Goriachkin, O. V., & Dolgoplov, V. N. et al. (n.d.). *Radiolokator s sintezirovannoi aperturoi, parazitiruiushchii na signalakh televizionnogo veshchaniia [Synthetic aperture radar that parasitizes television broadcast signals]*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/radiolokator-s-sintezirovannoy-aperturoy-parazitiruyushchii-na-signalah-televizionnogo-veschaniya> [in Russian].
10. Nguen Van Kuan, Markelova, M. A., & Verem'ev, V. I. (n.d.). *Analiz vozmozhnosti ispol'zovaniia sputnikovykh signalov podsveta dlia passivnoi radiolokatsionnoi sistemy [Analysis of the possibility of using satellite illumination signals for a passive radar system]*. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vozmozhnosti-ispolzovaniya-sputnikovykh-signalov-podsveta-dlya-passivnoy-radiolokatsionnoy-sistemy> [in Russian].

11. Andreiev, O. V., Topolnytskyi, P. P. (2014). Alhorytm pasyvnoho syntezyuvannia apertury anteny z rukhomoi platformy [Algorithm of passive synthesis of antenna aperture from a moving platform]. Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [[Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems. Scientific journal of Korolov Zhytomy rMilitary Institute], 9, 85–92. Zhytomyr: ZhMI DUT [in Ukrainian].
12. Fryz, P. V. (2020). *Osnovy pobudovy spetsialnykh kompleksiv kosmichnoi vydovoï rozvidky* [Basics of building special space intelligence complexes]. Zhytomyr [in Ukrainian].
13. Kazakov, V. D. et al. (1987). *Radioelektronnye sredstva sistem upravleniia PVO i VVS* [Radioelectronic means of air defense and air force control systems]. Moscow [in Russian].
14. Piza, D. M., Semenov, D. S., & Buhrova, T. I. (2017). *Proektuvannia radiolokatsiinykh system* [Design of radar systems]. Retrieved from <https://eir.zntu.edu.ua> [in Ukrainian].

O. F. Dubyna, O. V. Andreiev, T. M. Nikitchuk, I. V. Puleko, S. S. Hatsenko, V. V. Kliaznyka

SYNTHESIZING THE ANTENNA APERTURE USING SIGNALS FROM GROUND-BASED RADAR STATIONS FROM A SPACE CARRIER

Today, one of the priority directions of the aerospace industry of Ukraine is the creation of effective aerospace intelligence. Remote sensing of the Earth in the optical range provides the opportunity to obtain images of the Earth's surface for use in the military sphere and the national economy. For this, various sensors are used, which, as a rule, register radiation reflected from the surface of the Earth and objects located on it. Surveying the Earth's surface from space vehicles in the radio range allows solving a wide range of tasks. At the same time, the antenna irradiates the earth's surface with a radio signal with known parameters and receives the signal reflected from the surface over a relatively large area of the carrier's trajectory. When using a side view of the earth's surface to increase the angular separation by the path range, the artificial synthesis of the antenna aperture has become widely used. Artificially synthesizing the antenna aperture is carried out at the stage of coherent or incoherent processing of the reflected signal on a certain section of the carrier's trajectory. At the same time, the parameters of the reference trajectory signal are considered to be known with accuracy to the random phase. In contrast to the classical active methods of antenna aperture synthesis, which require the availability of information about the parameters of the radiated signal, with the passive method of antenna aperture synthesis, the parameters of the received signal are determined by the type of radio radiation source and are a priori unknown. When passively synthesizing the antenna aperture based on ground radar signals, both the maximum possible size of the synthesized aperture and the conditions for determining the azimuthal direction to the source of radio radiation depend on the parameters of the signal emitted by the radar. The paper analyzes the orbit parameters of the spacecraft, which ensure the fulfillment of the condition of the unambiguity of the determination of the azimuthal direction to the source of radio radiation and determine the resolution in terms of the path range during the passive synthesis of the antenna aperture based on the signals of typical radars operating in the pulse mode.

Keywords: spacecraft; source of radio emission; resolution; antenna synthesized aperture.