

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.061

**ГЛОБАЛЬНЕ ПОКРИТТЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТОРУ ЗОНАМИ  
ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ ЙОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ:  
КОНЦЕПЦІЯ І АЛГОРИТМИ**

Лабуткіна Т.В., Ананко Р.В.

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна*

Дана робота присвячена космічній тематиці, але, узагальнивши постановку задачі, варіюючи низку умов цієї постановки та змінюючи «масштаб» вхідних даних, можна прийти до різноманіття технічних задач, де будуть доцільні і прийнятні (частково або повністю) запропонована концепція та алгоритми, застосовані при її реалізації. Далі звизимо постановку задачі до розгляду одної з конкретних задач, пов'язаних із забезпеченням практичного використання навколоземного космосу людством.

Тема дослідження стосується актуального на сьогодні контролю множини орбітальних об'єктів на навколоземних орбітах. Зокрема – спостереження множини орбітальних об'єктів у навколоземному космосі для підтримання актуальної інформації про її проточний стан. Ще не так давно ця задача розглядалася в основному для випадку систем спостереження навколоземного простору системами наземних станцій, але зараз стає все більш актуальним застосування (та в подальшому злагожене використання з наземними засобами спостережень) супутникових систем відповідного призначення. В даній роботі розглянуто один з аспектів створення супутникової системи спостереження орбітальних об'єктів, зокрема – «остова» цієї системи, побудованого на різновисоких угрупованнях регулярної структури повного охоплення («огортання» Землі). Саме така система має в майбутньому забезпечувати повне покриття навколоземного простору зонами використання пристроїв спостереження відносно далекої дії застосування (і в подальшому доповнюватися застосуванням невеликих орбітальних угруповань з динамічною, високо адаптивною до вирішення конкретних задач структурою, які використовують пристрої спостереження невеликої дальності, що потребують наближення до об'єктів спостереження) [1,2]. Завдання спостереження множини орбітальних об'єктів буде вирішуватися на основі синергетичного поєднання застосування різних типів пристроїв спостереження та принципів їх застосування (будуть вестися спостереження оптичними і радіолокаційними засобами, видові спостереження та спостереження на основі чергових сеансів, тощо). В даній роботі тип пристрою

спостереження не виділений, а взята до розгляду тільки та область простору, в якій на конкретну мить пристрій спостереження орбітального базування (встановлений на космічному апараті) може бути застосований (миттєва зона його можливого застосування). Ця робота присвячена розвитку задачі забезпечення повного покриття заданої області висот над поверхнею Землі миттєвими зонами можливого застосування пристроїв спостереження орбітального базування (це область між сферичними поверхнями зі спільним центром, який співпадає з центром Землі, радіуси яких складаються з радіусу Землі і значення мінімальної і максимальної висот над її поверхнею відповідно). Задачі, пов'язані із використанням орбітальних пристроїв спостереження є актуальними, їх вивчення в різних аспектах представлено, наприклад, в публікація [3,4].

Задача розглянута в максимально спрощеній постановці. Пристрої спостереження встановлені на космічних апаратах на колових орбітах. Вважається, що точка розташування пристрою спостереження співпадає з точкою положення центру мас космічного апарату, який є носієм цього пристрою. За розташуванням зони можливого застосування пристрою спостереження виділено два типи пристроїв: 1) для першого типу спостереження ведуться над площиною миттєвого місцевого горизонту (над площиною, перпендикулярною до радіус-вектора космічного апарату  $\vec{r}$ ); 2) для другого типу спостереження реалізуються під цією площиною. Будемо спрощено називати спостереження, що реалізуються описаними типами пристроїв, як «спостереження у верх» і «спостереження вниз». Перший рівень спрощення передбачає представлення зони застосування пристрою спостереження не усіченим конусом, розміри і розташування якого у просторі задають такі умови (рис. 1): 1) вершина конусу знаходиться в точці положення центру мас космічного апарату; 2) вісь симетрії конусу співпадає з прямою, якій належить радіус-вектор точки розташування космічного апарату (інакше – з прямою, перпендикулярною до площини миттєвого місцевого горизонту; 3) кут відхилення напрямку з точки розташування космічного апарату на точку знаходження об'єкту спостереження від вертикального до площини миттєвого місцевого горизонту напрямку вниз для пристроїв другого типу або вверх для пристроїв першого типу (кут  $\gamma$  на рис. 1) має не перевищувати задане граничне значення  $\gamma_m$  ( $\gamma \leq \gamma_m$ ); 4) довжина відрізка поверхні конусу, що поєднує його вершину і основу, має значення  $L_m$  (дальність  $L$  від пристрою спостереження до об'єкту спостереження має не перевищувати це значення –  $L \leq L_m$ ).

Орбітальне угруповання супутникової системи спостереження побудовано за таким принципом: 1) є  $K$  різновисоких угруповань на колових орбітах (різновисоких сегментів); 2) в кожному  $k$ -му сегменті угруповання  $M_k$  номінальних орбітальних площин; 3) в кожній  $m$ -й орбітальній площині  $k$ -го сегменту  $N_{km}$  космічних апаратів. Інакше кажучи, орбітальне угруповання кожного сегменту представлено «кільцями» («замкненими ланцюжками») космічних апаратів, і кожне таке «кільце» знаходиться в своїй орбітальній площині (фрагменти угруповання космічних апаратів в одній орбітальній площині схематично зображені на рис. 2). Необхідно обрати параметри всього орбітального угруповання, щоб забезпечити кожній миті безперервне покрити зонами спостереження весь простір в заданій області висот. Схожа задача розглядалася в роботі [2].

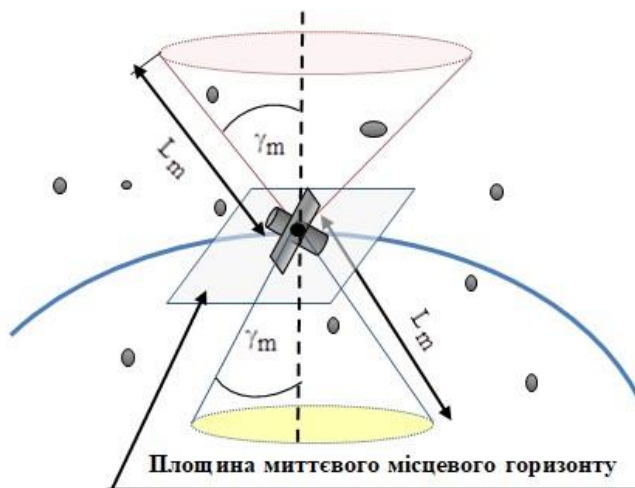


Рисунок 1 – Область миттєвого покриття простору зонами можливого застосування пристроїв спостереження з космічного апарату

Задача в описаній постановці чимось перекликається з задачею забезпечення безперервного покриття поверхні Землі (яка розглядається як сфера), зонами застосування пристроїв дистанційного зондування Землі або, частіше, миттєвими зонами покриття супутників системи зв'язку. Відмінність задачі, розглянутої в даній роботі, в тому, що тут йдеться про безперервне покриття заданої частини простору (зокрема – частини простору між двома сферами зі спільним центром).

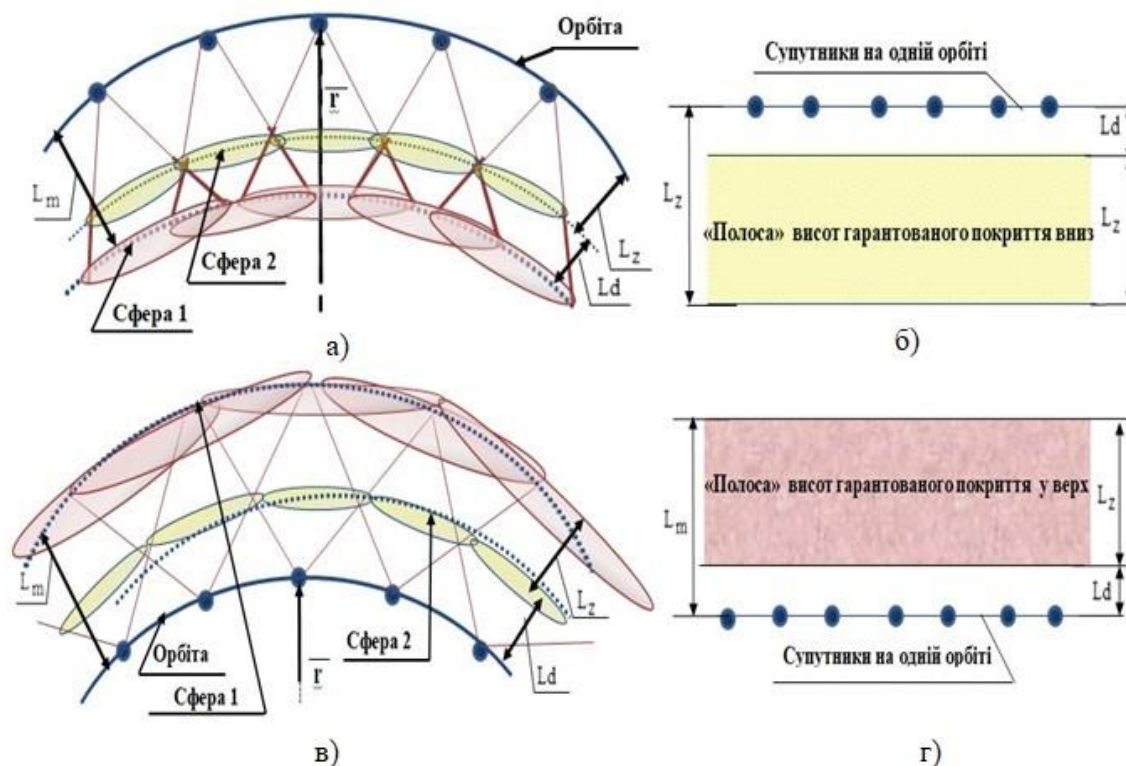


Рисунок 2

В роботі [2] були запропоновані два концептуальних підходи до забезпечення спостереження множини орбітальних об'єктів в навколосемному просторі із використанням пристроїв спостереження «вниз» та «вверх» (пристроїв типу один і два), встановлених на космічних апаратах, які знаходяться в декількох різновисоких колових орбітальних угрупованнях. При цьому в публікації [2] розглядається розміщення у просторі зон висот, границями яких є сфери з розташованими на них космічними апаратами, які реалізують спостереження «уверх» та «вниз» (покриття заданої частини простору цими зонами, перекриття цих зон). В даній роботі пропонується інший підхід, який більш точно «націлений» на вирішення задачі у заданій постановці. Запропонована тут концепція забезпечення безперервного покриття заданої області простору миттєвими зонами можливого застосування пристроїв спостереження базується на виділенні областей простору, границі яких відсутні від пристроїв спостереження, а після того – заповнення простору цими областями.

Запропонована схема вирішення задачі для пристрою спостереження другого типу («вниз») виглядає наступним чином (розгляд підходу до вирішення задач представлений для космічних апаратів одної з орбітальних площин одного з різновисоких орбітальних угруповань системи. Супутники

рівномірно розташовані на коловій орбіті радіусу  $r$ . Сфера, до якої досягає дальність пристрою спостережень, знаходиться на відстані  $L_m$  від орбіти і має радіус  $(r - L_m)$  (рис 2а, 2б). Підбирається кількість космічних апаратів  $N_{km}$ , яка дасть неперервну полосу покриття на сфері радіусом  $(r - L_d)$ . Після цього, вважаючи кількість космічних апаратів однаковою в кожній орбітальній площині  $k$ -го угруповання ( $n_{km} = n_k$ ), а орбіту, де розташовані космічні апарати-спостерігачі, – квазіполярною, обирається кількість орбітальних площин  $M_k$  відповідного  $k$ -го орбітального угруповання, щоб забезпечити повне покриття сфери радіусом  $(r - L_d)$  полосами неперервного огляду, які створюють космічні апарати кожної орбіти. Описаний алгоритм схожий на згадану задачу покриття поверхні Землі зонами спостереження або обслуговування супутникової системи. Забезпечення повного покриття сфери радіусом  $(r - L_d)$  полосами неперервного огляду забезпечить повне покриття області простору між сферами, центри яких співпадають з центром Землі, а радіуси мають значення  $(r - L_d)$  і  $(r - L_m)$  відповідно (будемо говорити про гарантоване покриття «полоси висот» над поверхнею Землі).

Аналогічно можна представити задачу знаходження області гарантованого покриття області простору пристроями спостереження у верх (пристроями першого типу). Відмінність у тому, що в цьому випадку буде йтися про суцільне сфер з більшими радіусами, ніж радіус орбіти. І тут буде застосований інший алгоритм розрахунків полоси неперервного покриття та враховані додаткові обмеження.

Маючи «полоси» висот гарантованого покриття зонами розташування пристроїв спостереження «вниз» або «у верх» (області між парами сфер різних радіусів), можна забезпечити покриття заданої зони висот цими «полосами» висот, розташувавши їх «в стик» (в ідеальній постановці) і з перекриттям (для забезпечення надійного результату).

### Література

1. Ананко Р.В., Лабуткіна Т.В. Навколоземний космос, контрольований людством: системність підходів, глобальність рішень, система-спостерігач на навколоземних орбітах. // Друга науково-практична Інтернет-конференція «Космічні горизонти», третій етап конференції - «Космос для людства». Збірник тез, НЦАОМ, Дніпро, 1-3 грудня, 2022. - С. 33-43.

URL: [https://space-horizons.org.ua/uploads/source/archiv\\_2022\\_3/tezu\\_3\\_2022.pdf](https://space-horizons.org.ua/uploads/source/archiv_2022_3/tezu_3_2022.pdf)

2. Лабуткіна Т.В., Ананко Р.В. До концепції складової супутникової системи спостереження орбітальних об'єктів на основі стабільних регулярних угруповань космічних апаратів // Proceedings of the V International Scientific and Practical

Conference. Stockholm, Sweden. 2023. Pp. 616-625. URL: <https://isg-konf.com/prospects-of-modern-science-and-education/>

3. Mark R. Ackermann, Colonel Rex R. Kiziah, Peter C. Zimmer, John T. McGraw, David D A systematic examination of ground-based and space-based approaches to optical detection and tracking of satellites. // 31st Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, United States of America Presented on April 14, 2015. - SAND2015-3726C/

4. Zhao Li. Yidi Wang, Wei Zheg Space-Based Optical Observation of Space Debris via Multipoint of View // Hindawi International Journal of Aerospace Engineering. // Volume 2020, Article ID 8328405, 12 pages. <https://doi.org/10.155/2020-83284>.

## GLOBAL NEAR-EARTH SPACE COVERAGE BY ZONES OF THE USE OF ITS OBSERVATION DEVICES: CONCEPT AND ALGORITHMS

Labutkina Tetiana, Ananko Ruslan

**Abstract.** This work concerns the development of the task of ensuring full coverage of a given area of heights above the Earth's surface by instantaneous zones of possible application of orbital-based surveillance devices located in circular orbital groups of different heights. The proposed concept of ensuring continuous coverage by zones of possible application of surveillance devices is based on the selection of areas of space, the boundaries of which are moved away from the surveillance devices, and then filling the space with these areas. The work is devoted to the space theme, but by generalizing the statement of the problem, varying a number of conditions of this statement and changing the "scale" of the input data, it is possible to arrive at a variety of technical problems where the proposed concept and algorithms used in its implementation will be appropriate and acceptable (in part or in full).

**Keywords:** covering the area of space with instantaneous zones, areas of application of surveillance devices, orbital-based surveillance devices, satellite systems for monitoring orbital objects

### References

1. Ananko R.V., Labutkina T.V. Navkolozemnyi kosmos, kontrolovanyi liudstvom: systemnist pidkhodiv, hlobalnist rishen, systema-sposterihach na navkolozemnykh orbitakh. // Druha naukovo-praktychna Internet-konferentsiia «Kosmichni horyzonty», tretii etap konferentsii - «Kosmos dlia liudstva». Zbirnyk tez, NTSAOM, Dnipro, 1-3 hrudnia, 2022. - S. 33-43.

2. Labutkina T.V., Ananko R.V. Do kontseptsii skladovoi suputnykovoi systemy sposterezhennia orbitalnykh obektiv na osnovi stabilnykh rehuliarnykh uhrupovan kosmichnykh aparativ // Proceedings of the V International Scientific and Practical

Conference. Stockholm, Sweden. 2023. Pp. 616-625. URL: <https://isg-konf.com/prospects-of-modern-science-and-education/>

3. Mark R. Ackermann, Colonel Rex R. Kiziah, Peter C. Zimmer, John T. McGraw, David D A systematic examination of ground-based and space-based approaches to optical detection and tracking of satellites. // 31st Space Symposium, Technical Track, Colorado Springs, Colorado, United States of America Presented on April 14, 2015. - SAND2015-3726C/
4. Zhao Li. Yidi Wang, Wei Zheg Space-Based Optical Observation of Space Debris via Multipoint of View // Hindawi International Journal of Aerospace Engineering. // Volume 2020, Article ID 8328405, 12 pages. <https://doi.org/10.155/2020-83284>.