

**СИНТЕЗ І АНАЛІЗ ОРБІТАЛЬНИХ КЛАСТЕРІВ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ****Storchak K.P. Synthesis and analysis of orbital clusters of space vehicles**

The paper considers methods for determining the main characteristics of orbital clusters of artificial Earth satellites. The structures with different number of space vehicles in the plane of the orbit are obtained. The most important characteristics in their construction can be attributed to the type of orbit, altitude of the orbit, inclination of the orbit; time of radio visibility of the spacecraft; the number of spacecraft, the type of orbital cluster, and the number of spacecraft inside the plane of the orbit. Calculations have been made to determine the width of the zone of view of the on-board equipment of the spacecraft through the value of the field of view of the equipment and the altitude of the orbit. Graphic dependencies are constructed that display the shape of the width of the spacecraft's survey zone at different altitudes for low-altitude and medium-altitude orbits. The dependence of the inclination of the orbit (at the latitude of the geographical center of Ukraine) on the overlap factor (0.1 - 1.0) is calculated and graphically displayed. The determination of the minimum altitude of the orbit of a spacecraft for a given latitude and longitude of earth stations, which are located at the edge of the coverage area of the spacecraft, as well as the necessary minimum time of the satellite's stay in the area of operation of the earth station are considered. Areas of radio visibility with the minimum permissible angle of the earth station location are determined. The number of spacecraft in the polar orbit plane, the number of orbital planes and the total number of satellites have been calculated.

**Keywords:** spacecraft, orbital cluster, low-altitude orbits, medium-altitude orbits, orbit shape, eccentricity, inclination, mean radius of the Earth, survey field width, field of view, orbit altitude, elevation angle, central angle

**Сторчак К.П. Синтез і аналіз орбітальних кластерів космічних апаратів**

В роботі розглядаються способи визначення основних характеристик орбітальних кластерів штучних супутників Землі. Отримані структури з різною кількістю космічних апаратів в площині орбіти. До найбільш важливих характеристик при їх побудові, можуть бути віднесені: тип орбіти, висота орбіти, нахил орбіти; час радіовидимості космічного апарату; число космічних апаратів, тип орбітального кластера і число космічних апаратів всередині площини орбіти. Проведені розрахунки для визначення ширини зони огляду бортової апаратури космічного апарата через значення кута поля зору апаратури та висоти орбіти. Побудовані графічні залежності, які відображають форму ширини зони огляду космічного апарату при різних значеннях висоти для низьковисотних та середньовисотних орбіт. Розраховано і графічно відображено залежність нахилу орбіти (при широті географічного центру України) від коефіцієнта перекриття (0.1 – 1.0). Розглянуто визначення мінімальної висоти орбіти космічного апарату при заданих широті та довготі земних станцій, які розташовані по краю зони покриття космічного апарату, а також необхідний мінімальний час знаходження супутника в зоні дії земної станції. Визначені зони радіовидимості при мінімально допустимому куті місця земної станції. Розраховано кількість космічних апаратів в площині полярної орбіти, кількість орбітальних площин та загальна кількість супутників.

**Ключові слова:** космічний апарат КА, орбітальний кластер ОК, низьковисотні орбіти, середньовисотні орбіти, форма орбіти, ексцентриситет, нахилення, середній радіус Землі, ширина зони огляду, кут поля зору, висота орбіти КА, кут місця, центральний кут, земна станція ЗС

**Сторчак К. П. Синтез и анализ орбитальных кластеров космических аппаратов**

В работе рассматриваются способы определения основных характеристик орбитальных кластеров искусственных спутников Земли. Получены структуры с разным количеством космических аппаратов в плоскости орбиты. К наиболее важным характеристикам при их построении, могут быть отнесены тип орбиты, высота орбиты, наклон орбиты; время радиовидимости космического аппарата; число космических аппаратов, тип орбитального кластера и число космических аппаратов внутри плоскости орбиты. Проведены расчеты для определения ширины зоны обзора бортовой аппаратуры космического аппарата через значение угла поля зрения аппаратуры и высоты орбиты. Построены графические зависимости, которые отображают форму ширины зоны обзора космического аппарата при разных значениях высоты для низковисотных и средневысотных орбит. Рассчитана и графически отображена зависимость

наклона орбіти ( при широті географічного центра України) от коефіцієнта перекриття (0.1 – 1.0). Рассмотрено определение минимальной высоты орбиты космического аппарата при заданных широте и долготе земных станций , которые расположены по краю зоны покрытия космического аппарата, а также необходимое минимальное время нахождения спутника в зоне действия земной станции. Определены зоны радиовидимости при минимально допустимом угле места земной станции. Рассчитано количество космических аппаратов в плоскости полярной орбиты, количество орбитальных плоскостей и общее количество спутников.

**Ключевые слова:** космический аппарат КА, орбитальный кластер ОК, низковысотные орбиты, средневысотные орбиты, форма орбиты, эксцентриситет , наклонение ,средний радиус Земли, ширина зоны обзора ,угол поля зрения, высота орбиты КА, угол места, центральный угол.

### Вступ.

При виборі орбітальних кластерів космічних апаратів (КА) визначають вид зв'язку, який повинен забезпечуватися даними угрупованнями. Завдання можна сформулювати в такий спосіб: потрібно забезпечити цілодобову безперервну або із заданими розривами зв'язок для певного району земної кулі, групи районів або глобально для всієї земної кулі [1].

При визначенні форми орбіти КА розглядають наступні види зв'язку: глобальний зв'язок, що охоплює всю поверхню земної кулі; реалізується на геостаціонарних орбітах; регіональна система зв'язку, що забезпечує зв'язок у заданому регіоні; будується на еліптичних орбітах з періодом обігу близько 12 годин, а також використовуються середньовисотні орбітальні кластери (ОК); зв'язок з окремими пунктами; здійснюється на низьких кругових орбітах.

Для негеостаціонарних ОК використовуються кругові орбіти однакової висоти й нахилення з рівномірним розподілом площин орбіт у просторі й КА в кожній площині [2].

При цьому, кут між суміжними площинами  $\Delta\varphi = 180^\circ / n_c$ , а кутова відстань між супутниками в кожній площині  $\Delta\psi = 360^\circ / n_c$ .

Вибір форми орбіти залежить від площі, території що покривається, географічного місця розташування, а також конфігурації району.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

З погляду розв'язку цільових завдань по забезпеченню передачі інформації з високою пропускнуою здатністю, якістю й надійністю, у необхідній зоні обслуговування й при мінімальних витратах, до найбільш важливих характеристик побудови орбітальних кластерів, що підлягають оптимізації, можуть бути віднесені [3]: тип орбіти, висота, нахилення; час радіовидимості КА; число КА, тип орбітального кластера й число КА усередині площини та ін.

При виборі параметрів орбіт необхідно враховувати вимоги, обумовлені призначенням КА, і численні обмеження, до яких відносяться, наприклад, обмеження, що накладаються характеристиками застосовуваних ракет-носіїв, наземної апаратури і бортового устаткування. У кожному конкретному випадку визначаються головні обмеження, які необхідно враховувати, щоб забезпечити виконання завдань, поставлених перед окремим супутником або системами КА [4, 5].

Залежно від призначення супутника, вибір параметрів його орбіти може проводитися з урахуванням наступних факторів: часу існування КА; забезпечення зв'язку або одержання інформації як із заданих районів Землі, так і в глобальному масштабі; забезпечення постійної орієнтації площин орбіт щодо Сонця; забезпечення оперативності одержання інформації на ЗС; технічних характеристик наземної й бортової апаратури; впливу радіаційних поясів Землі на роботу бортових систем; енергетичних можливостей носіїв; освітленості заданих районів Землі при польоті супутника; мінімізації числа супутників тощо.

Число параметрів, що визначають орбіту, залежить від її форми, при виборі якої слід враховувати: тип і склад бортової й наземної апаратури, її технічні характеристики й можливості; час активного існування супутників; завдання, розв'язувані супутниками, тощо.

Форма орбіти визначається рівнянням у полярній системі координат

$$r = \frac{p}{1 + e \cdot \cos \theta}. \quad (1)$$

З рівняння (1) випливає, що при  $0 < e < 1$  розглянута орбіта є еліпсом (при  $e = 0$  цей еліпс перетворюється в окружність із радіусом  $r = \text{const}$ ,  $p$  - фокальний параметр, який характеризує розмір орбіти). При  $e = 1$  орбіта стає параболою, а при  $e > 1$  - гіперболою.

Форма орбіти залежить від швидкості польоту. Рівняння, що визначає форму орбіти, залежно від швидкості польоту має вигляд [4]:

$$e = \sqrt{1 - k(2 - k) \cos^2 \theta}, \quad (2)$$

де  $\theta$  — кут між напрямком швидкості руху КА й нормаллю до радіуса-вектора  $r$  (рис. 1);

$$k = \frac{rv^2}{\mu} = \frac{v^2}{W^2} = \frac{2v^2}{V^2};$$

$\mu$  — коефіцієнт, дорівнює добутку гравітаційної постійної на масу Землі;

$W = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$  — швидкість кругового руху на відстані  $r$  від центру тяжіння;

$V = \sqrt{2}W = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$  - швидкість відриву на відстані  $r$  від центру тяжіння.

Якщо  $v < V$ , то  $k < 2$  й  $e < 1$ . У цьому випадку орбіта є еліптичною.

Вираз (2) можна представити у вигляді

$$e = \sqrt{\sin^2 \theta + (k - 1)^2 \cos^2 \theta}. \quad (3)$$

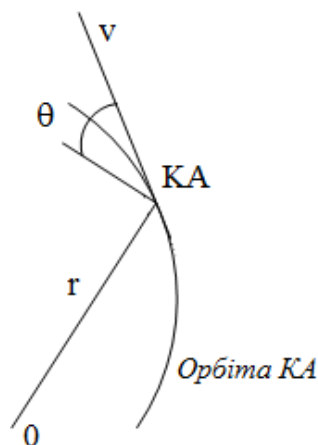


Рис. 1. Визначення кута  $\theta$  між напрямком швидкості руху КА й нормаллю до радіус-вектора  $r$

Звідси безпосередньо випливає, що кругова орбіта ( $e = 0$ ) може бути отримана лише при умовах

$$v = W \text{ і } \theta = 0. \quad (4)$$

Однак, оскільки на практиці умова (4) точно не виконується внаслідок помилок систем виведення супутників на розрахункові орбіти й відповідних коригувальних пристроїв, а також через дію на супутники різних збурюючих факторів, то фактично одержувані орбіти для багатьох типів супутників Землі є майже круговими орбітами, які характеризуються наступними параметрами [4]: ексцентриситетом  $0 < e \leq 0.02$ ; нахиленням  $i$ ; середнім

радіусом  $r_{cp}$ ; довготою висхідного вузла  $\Omega$ ; часом  $t_{\Omega}$  проходження супутника через вузол; аргументом перигею  $\omega_p$ .

Нахилення площини орбіти вибирається залежно від географічного розташування районів, з якими необхідно забезпечити зв'язок або здійснювати одержання відповідної інформації, а також від ширини зони огляду земної поверхні бортовою апаратурою, встановленою на супутниках.

Для забезпечення зв'язку або одержання інформації із усіх районів Землі, у тому числі й з її полюсів, нахилення орбіт повинне перебувати в межах

$$\frac{\pi}{2} - \frac{\Delta}{R}(1 - \xi) \leq i \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\Delta}{R}(1 - \xi), \quad (5)$$

де  $R=6371.301$  км — середній радіус Землі;

$\Delta$  — ширина зони огляду бортової апаратури, значення якої через кут поля зору апаратури  $2\varepsilon$  й відстань  $r$  від центру Землі до супутника ( $r=R+h$ ,  $h$  — висота орбіти КА) визначається виразом [5]

$$\Delta = \frac{\pi R}{90^0} \left[ \arcsin \left( \frac{R+h}{R} \sin \varepsilon \right) - \varepsilon \right]. \quad (6)$$

На рис. 2 і рис. 3 представлені залежності ширини зони огляду КА від кута  $\varepsilon$ .

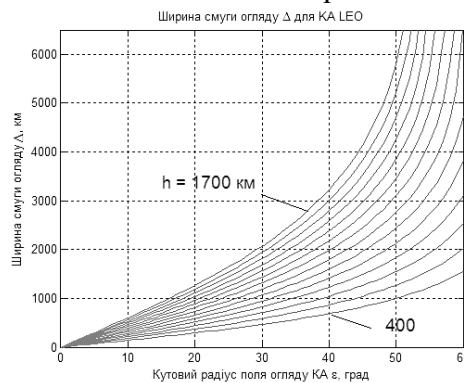


Рис.2. Ширина зони огляду бортової апаратури КА (LEO)

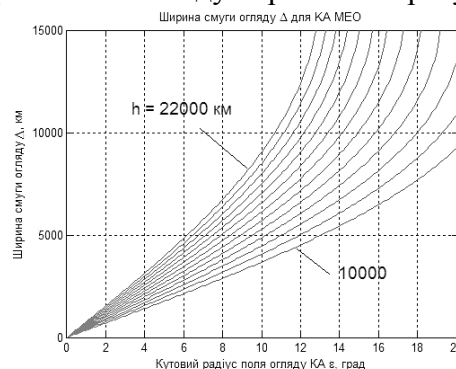


Рис.3. Ширина зони огляду бортової апаратури КА (MEO)

У свою чергу кут поля зору  $2\varepsilon$  із супутника обмежується радіусом-вектором  $r$  і кутом місця  $\gamma$ , з якого може починатися зв'язок:

$$\varepsilon = 90^0 - \arccos \left( \frac{R}{R+h} \cos \gamma \right). \quad (7)$$

При  $\gamma = 0$  одержуємо максимальне значення кута поля зору  $2\varepsilon_{\max}$  :

$$\varepsilon_{\max} = 90^{\circ} - \arccos \frac{R}{R+h}. \quad (8)$$

Для забезпечення зв'язку або одержання інформації із заданої широти  $B$  необхідне нахилення орбіт визначається зі співвідношення

$$B - \frac{\Delta}{R}(1-\xi) \leq i \leq \pi - B + \frac{\Delta}{R}(1-\xi), \quad (9)$$

де  $\xi$  — коефіцієнт, що враховує необхідний відсоток перекриття смугою огляду із супутника заданих широт  $B$  ( $\xi = 0.1-1.0$ ), причому якщо

$\xi = 0$ , задані широти перебувають на краю зони огляду із супутника; якщо  $\xi = 1$ , траса польоту супутників проходить через  $B$ .

Залежність нахилення  $i$  від коефіцієнта  $\xi$  для ряду значень  $\Delta$  при  $B = 49.02750$  (географічна широта центру України) наведена на рис. 4.

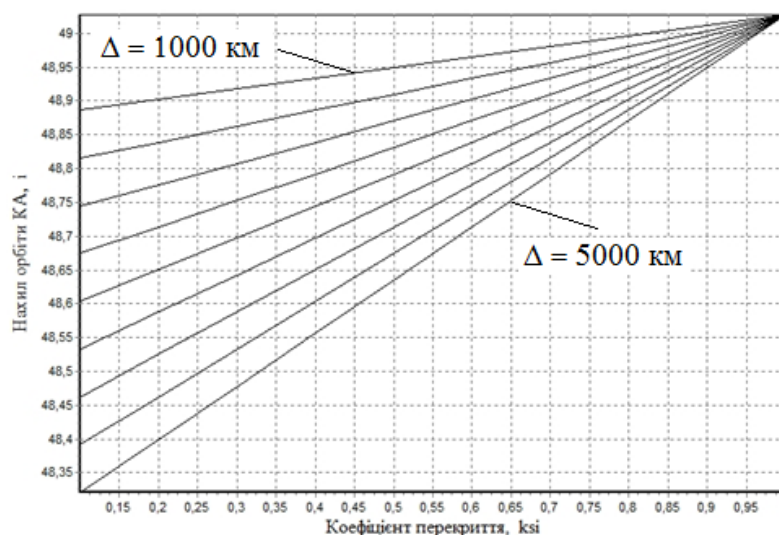


Рис.4 Залежність нахилу орбіти КА  $i$  від коефіцієнта перекриття  $\xi$

Поява КА в той самий місцевий час над районами з даною широтою нахилення орбіт визначається в такий спосіб:

$$i = \arccos \left( -\frac{2\pi(1-e^2)^2 T^2 \sqrt{T}}{888.796 T_r} \right), \quad (10)$$

де  $T_r = 365,2422$  сонячної доби – тривалість тропічного року;

$T$ - період обігу КА.

При виборі висоти орбіт необхідно враховувати наступне:

— вимога одержання інформації з тих самих або із усіх районів земної поверхні за задане число доби (при обмеженій ширині зони огляду бортової апаратури);

— вимога оперативного збору відповідної запам'ятованої на борту супутників інформації на земних станціях (ЗС). Однією з умов, що підвищують оперативність одержання інформації на ЗС, є вибір такої висоти, при якій забезпечувалося б проходження супутника на будь-якому витку орбіти через зону дії ЗС. У цьому випадку, також

зменшується необхідний обсяг пам'яті бортових запам'ятовуючих пристроїв;

— технічні характеристики наземної й бортової апаратури (дальність її дії, можливість одержання необхідної здатності зображень, мінімальний кут місця, з якого можлива робота пунктів із супутниками, тощо);

— вплив радіаційних поясів Землі на роботу бортових систем супутників при тривалому часі активного існування системи;

Розглянемо визначення мінімальної висоти орбіти КА при заданих параметрах [3]:

$$h_{\min} = f(i, t_H, B_1, B_2, L_1, L_2, \gamma_{\min}), \quad (11)$$

де:

$i$  - нахилення орбіти КА;

$t_H$  - необхідний мінімальний час знаходження супутника в зоні дії земної станції (ЗС);

$B_1, B_2, L_1, L_2$  - широта й довгота ЗС, розташованих по краю зони покриття КА;

$\gamma_{\min}$  - мінімальний кут місця, з якого може здійснюватися робота ЗС із супутниками;

Умова, при якій перебуває точне значення  $h_{\min}$ , має вигляд

$$\Delta l_p = L_{\text{необх}}, \quad (12)$$

де

$$\Delta l_p = |L_1 - L_2|;$$

$$L_{\text{необх}} = 360^\circ - \sum_{j=1}^4 \Delta l_j, \quad j = 1, 2, 3, 4. \quad (13)$$

Одержимо значення  $\Delta l_j$  по наступних формулах:

$$\Delta l_1 = \arccos\left(\frac{\cos l' - 1}{\cos^2 B_1} + 1\right), \quad (14)$$

де

$$\left\{ \begin{array}{l} l' = \arccos(\cos d \cdot \cos b); b = (m + b) - m; \\ d = \arctg\left(\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \frac{v}{2}\right); (m + b) = \arcsin\left(\frac{\sin B_1}{\sin i}\right); \\ \varphi = 90^\circ - (\varepsilon + \gamma_{\min}); m = \arcsin\left(\frac{\sin B_1}{\sin i \cdot \cos d} - \operatorname{ctgi} \cdot \operatorname{tgd}\right); \\ \varepsilon = \arcsin\left(\frac{R}{R + h} \cos \gamma_{\min}\right); \\ v = \arccos\left(\frac{\cos u' - 1}{\sin^2 \varphi} + 1\right); \\ u' = \frac{360^\circ t_H}{T}. \end{array} \right. \quad (15)$$

Значення  $\Delta l_2$  визначається по тим же формулам, що й  $\Delta l_1$ , тільки замість широти  $B_1$  підставляємо значення широти  $B_2$ . Для ЗС, що перебувають на одній широті  $\Delta l_1 = \Delta l_2$ . Знаходимо значення  $\Delta l_3$  й  $\Delta l_4$  :

$$\Delta l_3 = \arccos\left(\frac{\cos \sigma - \sin B_1 \cdot \sin B_2}{\cos B_1 \cdot \cos B_2}\right), \quad (16)$$

де 
$$\sigma = 180^\circ - \left[ \arcsin\left(\frac{\sin B_1}{\sin i}\right) + \arcsin\left(\frac{\sin B_2}{\sin i}\right) \right]; \quad (17)$$

$$\Delta L_4 = t_c \omega_3 \frac{180^\circ}{\pi}; \quad (18)$$

тут

$$t_c = \left\{ 0.5 - \frac{1}{360^\circ} \left[ \arcsin\left(\frac{\sin B_1}{\sin i}\right) + \arcsin\left(\frac{\sin B_2}{\sin i}\right) \right] \right\} \cdot T; \quad (19)$$

$\omega_3 = 7.2921158 \cdot 10^{-5} \text{ рад/с}$  - кутова швидкість обертання Землі;

$T = 1.655 \cdot 10^{-4} \sqrt{(R+h)^3}$  - період обертання КА.

Для визначення  $h_{\min}$  виконується ітераційна процедура. Здається початкове значення  $h_{\min} = h$ , потім визначається величина  $L_{\text{необх}}$ . Перевіряється умова (12), якщо вона не виконується, чергове значення  $h$  обчислюється по формулі  $h_{j+1} = h_j \pm \Delta h_j$ ,

Визначимо зону радіовидимості при мінімально допустимому куті місця ЗС. Для цього скористаємося формулою [5]:

$$\varphi_\gamma = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \gamma_{\min}\right) - \gamma_{\min}. \quad (20)$$

При визначенні границі зони радіовидимості слід звертати увагу й на максимальну дальність зв'язку між КА й ЗС. Для цього скористаємося виразом [3]:

$$D_{\max} = \sqrt{(R+h)^2 + R^2 - 2 \cdot (R+h) \cdot R \cos \varphi_D}; \quad (21)$$

$$\varphi_D = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \gamma_D\right) - \gamma_D.$$

На рис. 5 представлені графіки залежності центрального кута  $\varphi$  від мінімального кута місця ЗС для низьких орбіт (LEO) з висотами від 400 км до 1700 км і середньовисотних орбіт (MEO) для висот від 10000 км до 22000 км.

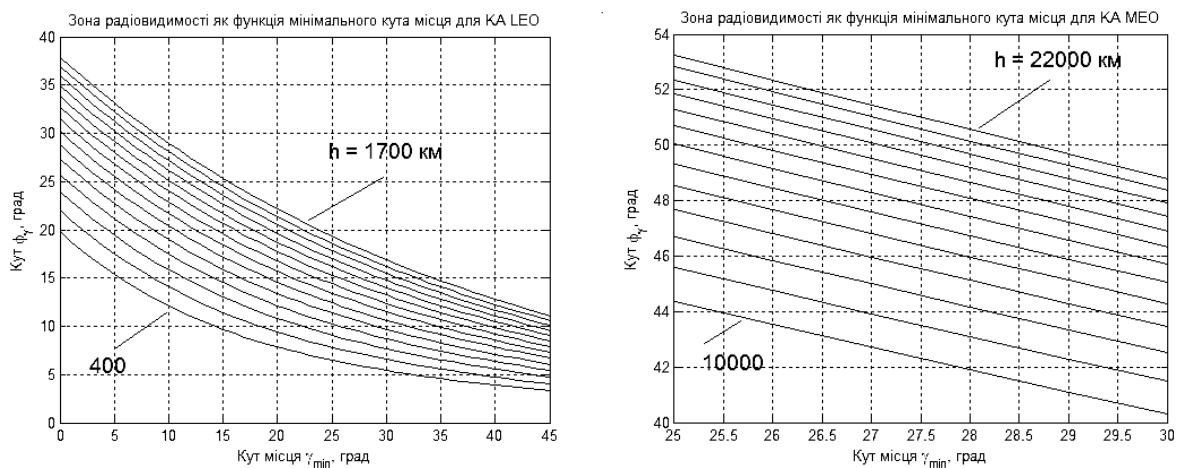


Рис. 5. Графічне представлення залежності центрального кута  $\varphi$  від мінімального кута місця ЗС  $\gamma_{\min}$  для низьких та середньовисоких орбіт

Загальна кількість КА, а також кількість площин орбіти й кількість КА на одній орбіті орбітального кластера залежить від ширини смуги огляду  $\Delta(h) = 2b$  й між космічними апаратами в одній площині  $2a$  (рис. 6), а також центральним кутом  $\varphi$ , який визначається з (20).

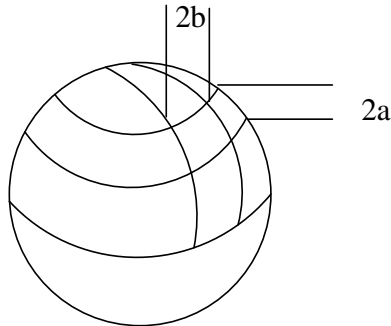


Рис. 6. Ширина смуги огляду й відстань між КА в одній площині

Значення  $a$  й  $b$  визначимо в такий спосіб [4]:

$$a = \arcsin\left(\frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 + \cos \varphi}}\right), \quad (22)$$

$$b = \arcsin\left(\operatorname{tg} a \cdot \sqrt{\cos \varphi}\right).$$

Для полярних орбіт кількість КА в одній площині дорівнює  $N_{\text{КА}} = \pi / a$ , кількість орбітальних площин  $N_{\text{п}} = \pi / 2b$ , а загальна кількість КА визначається з  $N = \pi^2 / 2ab$ . Дані отримані при різних значеннях висоти орбіти й кута місця заносимо в таблицю 1.

За даними з таблиці 1 побудуємо тривимірний графік залежності кількості КА від висоти орбіти й кута місця (рис.7).

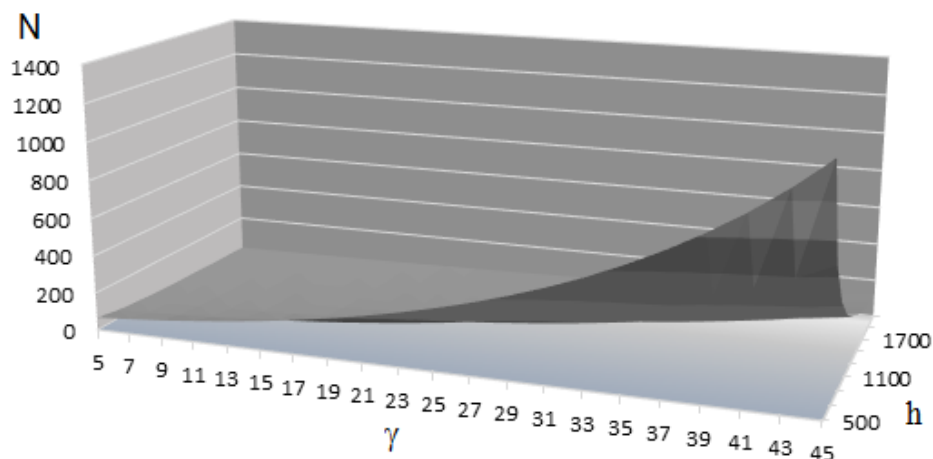


Рис.7. Кількість КА на орбіті в залежності від висоти КА  $h$  та кута місця наземної станції  $\gamma$



Таблиця 1. Кількість КА (LEO) в залежності від кута місця наземної станції та висоти орбіти при коефіцієнті перекриття кругових миттєвих зон радіовидимості  $K_{зрв} = 1.5$ 

№ п/п	Висота орбіти $h$ , км	Мінімальний кут місця $\gamma$ , град.	Геоцентричний кут $\phi$ , град.	Кут поля огляду КА $\epsilon$ град.	Кількість КА в площині орбіти $N_1$	Кількість площин орбіт $N_2$	Загальна кількість КА $N$
1	500	5	17,5	67,4	15	8	120
2	500	15	11,4	63,5	23	12	276
3	500	25	7,8	57,1	33	17	561
4	800	5	22,7	62,2	12	6	72
5	800	15	15,8	59,1	16	8	128
6	800	25	11,3	53,6	23	12	276
7	1000	5	25,5	59,4	10	5	50
8	1000	15	18,3	56,6	14	7	98
9	1000	25	13,4	51,5	19	10	190
10	1300	5	29,1	55,8	9	5	45
11	1300	15	21,6	53,3	12	6	72
12	1300	25	16,1	48,8	16	8	128
13	1700	5	33,1	51,8	8	4	32
14	1700	15	25,3	49,6	10	5	50
15	1700	25	19,3	45,6	14	7	98
16	2000	5	35,6	49,3	8	4	32
17	2000	15	27,6	47,3	10	5	50
18	2000	25	21,3	43,6	12	6	72

### Висновки

1. В даній роботі проведені розрахунки для визначення ширини зони огляду бортової апаратури космічного апарата через значення кута поля зору апаратури та висоти орбіти.

2. Побудовані графічні залежності, які відображають форму ширини зони огляду космічного апарату при різних значеннях висоти для низьковисотних та середньовисотних орбіт.

3. Розраховано і графічно відображено залежність нахилу орбіти (при широті географічного центру України) від коефіцієнта перекриття (0.1 – 1.0).

4. Розглянуто визначення мінімальної висоти орбіти космічного апарату при заданих широті та довготі земних станцій, які розташовані по краю зони покриття космічного апарату, а також необхідний мінімальний час знаходження супутника в зоні дії земної станції.

5. Визначені зони радіовидимості при мінімально допустимому куті місця земної станції.

6. Розраховано кількість космічних апаратів в площині полярної орбіти, кількість орбітальних площин та загальна кількість супутників.

Розраховані параметри характеризують положення КА в околосемному просторі та визначають його можливості по роботі на орбіті.

**Список використаної літератури**

1. Зеленцов В.В., Казаковцев В.П. Основы баллистического проектирования искусственных спутников Земли: учеб. пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. - 174 с.
2. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: Учеб. Пособие. - М.: «Альпина Паблишер», 2004. - 536 с.
3. Нариманов Г.С., Тихонравов М.К. Основы полета космических аппаратов. - М., «Машиностроение», 1972, - 608 с.
4. Козелков С.В., Козелкова Е.С. Измерения орбитальных параметров КА наземным РТК // Системи обробки інформації. 2010 Вип. 2 (83). С. 100-102.
5. Сторчак К.П. Методи інформаційно-технологічної побудови супутникової системи збору та обробки даних // Зв'язок. - 2017. - № 6 (130) – С. 31-34.
6. Аболиц А.И. Системы спутниковой связи. Основы структурно-параметрической теории и эффективность. - М.: ИТИС, 2004. – 426 с.
7. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли. Лекции и упражнения. - М.: Радио и связь, 2004. - 200 с.

***Автори статті***

**Сторчак Каміла Павлівна** - кандидат технічних наук, доцент, завідувача кафедри Інформаційних систем та технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

***Authors of the article***

**Storchak Kamila Pavlovna** - candidate of Science (technic), associate professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 30.03.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. С.В. Козелков