

ЗМІНИ В РУСІ ГЕОСИНХРОННИХ ОБ'ЄКТІВ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ НА НИХ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ЗЕМЛІ ТА ЇХ ПРОХОДЖЕННЯ ЧЕРЕЗ ТІНЬ ЗЕМЛІ

В.П. Єпішев, В.У. Клімик, І.І. Мотрунич

Ужгородський національний університет, Лабораторія космічних досліджень
вул. Далека, 2а, 88000, Ужгород

Розглядаються питання існування вікових змін в елементах орбіт некерованих геосинхронних супутників під дією випромінювання від Землі і проходження ними тіні Землі. Досліджується величина таких змін. Вікові зміни під дією цих збурюючих факторів дуже малі. Так велика піввісь їх орбіти зменшується на 0.5 км за 100 років.

Ключові слова: небесна механіка, геосинхронні супутники.

Вступ

Під дією прямого сонячного випромінювання відбуваються коротко- і довгоперіодичні зміни елементів орбіт некерованих геосинхронних об'єктів (НГО) – великої піввісі a , нахилу орбіти i , довготи висхідного вузла Ω , ексцентриситету e , аргументу перигею ω і середньої аномалії M . Короткоперіодичні зміни елементів a , i , Ω мають період 0.5 доби, e , ω , M – 1 доба. Відбуваються також довгоперіодичні зміни елементів e , ω і M з періодом 1 рік. Амплітуди півдобових коливань a , i та Ω змінюються з періодом 0.5 року [1, 2].

Для обчислення прискорення a під дією випромінювання з Землі (інфрачервоного і відбитого сонячного) та внаслідок проходження НГО через тінь Землі використовуємо формули прискорення від збурення прямим сонячним випромінюванням [2, 3]. Але приведену в [2, 3] тінюву функцію γ_1 замінюємо функцією

$$\gamma_1 = \begin{cases} -1, & \text{якщо } |\psi| \geq \pi - \frac{R}{r_{Sp}} \\ 0, & \text{якщо } |\psi| < \pi - \frac{R}{r_{Sp}} \end{cases}$$

Нуль в другому рядку означає, що пряме сонячне випромінювання не враховуємо. Коли ж НГО заходить в тінь, то a НГО зменшується, тому перший рядок формули містить -1 .

Функції γ_1 , γ_2 визначають прискорен-

ня a_r вздовж вектора геоцентричної відстані \vec{r} . Його проекції на інші осі орбітальної системи координат малі [4]. Прискорення a_r під дією випромінювання від Землі додатне, а проходження НГО через тінь Землі приводить до від'ємного прискорення a_r . Це видно на графіку зміни a_r (рис. 1).

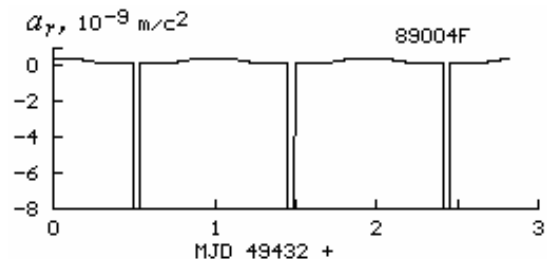


Рис. 1. Зміна проекції прискорення НГО 89004F на вектор геоцентричної відстані НГО, зумовленого випромінюванням від Землі і проходженням НГО через тінь Землі.

Для скорочення викладок введемо такі позначення: T – прояв дії на НГО його проходження через тінь Землі; B – відбитого від Землі сонячного випромінювання; I – інфрачервоного випромінювання Землі.

Зміна великої піввісі a НГО

Через a позначаємо зміну великої піввісі від початку відліку t_0 – початку дати 22.03.1994 (MJD 49432). В момент t_0 приймаємо $a = 0$. В позначення зміни елементів орбіти і її похідних введено індекси T , B , I відповідно до введених вище

позначень.

На рис. 2 показано зміну похідної \dot{a}_T великої піввісі НГО 89004F під дією **T**, а також похідної \dot{a}_B під дією **B**. Під дією **I** \dot{a}_i змінюється синусоїдально з періодом 1 доба (d). Розрахунки проводилися за рівняннями Лагранжа [5] з використанням формул прискорення [2, 3]. Похідні обчислювали з кроком $dt = 0.001^d - 0.002^d$ і результати наносилися на графіки окремими точками.

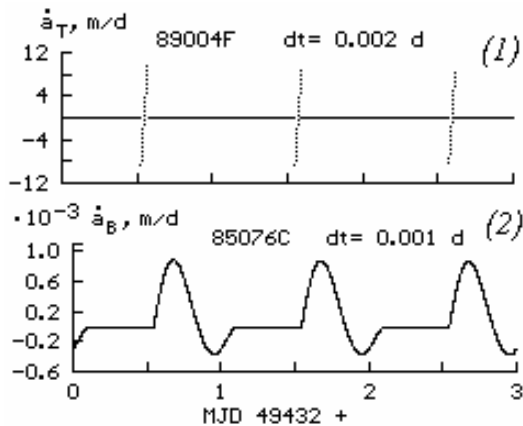


Рис. 2. Зміна похідної \dot{a} великої піввісі НГО в інтервалі 3 діб (1) в результаті проходження НГО через тінь Землі і (2) під дією відбитого від поверхні Землі сонячного світла.

За отриманими значеннями похідних \dot{a} проводилося чисельне інтегрування рівнянь Лагранжа, визначалися з певним кроком Δt значення піввісі a , за якими будувалися графіки зміни a під дією **T**, **B**, **I** (рис. 3). Зміна a під дією **I** має чітко виражені синусоїдальну (з періодом 1^d) і лінійну складові.

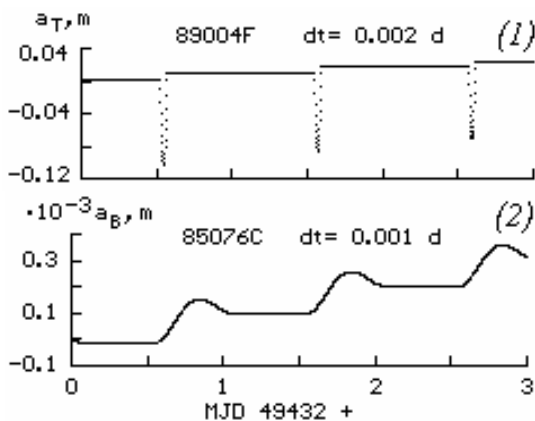


Рис. 3. Зміна великої піввісі НГО в інтервалі 3 діб (1) внаслідок проходження через тінь Землі і (2) під дією відбитого Землею сонячного світла.

Середня зміна a за добу на певному інтервалі визначається коефіцієнтом k лінії регресії $a = k \cdot t + b$. В усіх трьох випадках (під дією **T**, **B** і **I**) лінії регресії показують збільшення великої піввісі.

Найбільше збільшення великої піввісі a_T сталося в результаті проходження НГО через тінь Землі – на 0.024 м за 3^d . Але це збільшення не приводить до значних вікових збурень в русі НГО. Збільшення і зменшення a_T періодично чергуються: весною a_T збільшується, осінню – зменшується. Це видно з рис. 4 (2), де приведено зміну a_T протягом 3.3 років. Амплітуда річних змін a_T не перевищує 0.5 м, добових – 0.05 м. Влітку і взимку a_T не змінюється, так як НГО в ці сезони не заходить в тінь Землі.

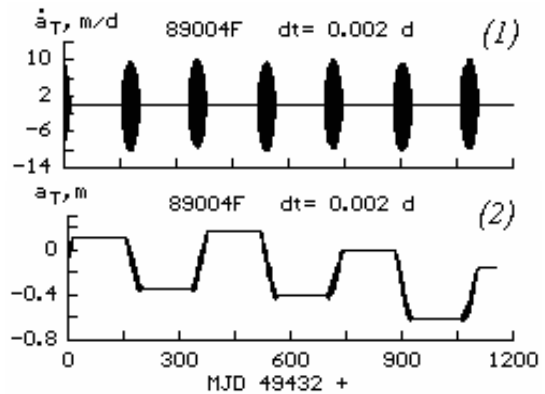


Рис. 4. Зміна похідної \dot{a}_T великої піввісі (1) і великої піввісі a_T (2) НГО 89004F в інтервалі 3.3 роки внаслідок проходження НГО через тінь Землі.

Для повного обсягу досліджень було вибрано 16 НГО так, щоб охопити рівномірно весь діапазон значень S/m НГО з каталогу [6]. Зміну a_T визначали з кроком 0.001^d на інтервалі 10 років. За цими даними для кожного з 16 НГО визначали лінію регресії:

$$a_T = k_T \cdot t + b_T, \quad (1)$$

де $b_T \approx 0$, коефіцієнт $k_T = -0.000757 \pm 0.000566$ метрів за добу (м/д), коефіцієнт кореляції $\rho = 0.82 \pm 0.16$. Підставляючи в (1) $t = 36525^d$, отримаємо, що під дією **T** велика піввісь каталожного НГО за 100 років зменшується на 27.6 ± 20.7 м. Величина зміни k_T пропорційна S/m : $k_T = -0.040 \cdot (S/m)$, $\rho = 0.84$. Так що в залежності від S/m величина a_T каталожних

НГО за 100 років може зменшитися приблизно в межах від **2.3** м (89070С) до **54.1** м (84023А). За даними 16 НГО середнє квадратичне відхилення значень a_T від прямої (1): $\sigma = 0.53 \pm 0.63$ м.

Зміна великої піввісі a_B НГО під дією відбитого від Землі сонячного випромінювання відбувається гармонічно з періодом 1 рік (рис. 5). Амплітуда A_d цих довгоперіодичних коливань невелика. Вона пропорційна параметру S/m . У НГО з великим S/m A_d може досягати 0.4 м. Інколи A_d змінюється з періодом близько 10 років. Є також лінійна складова, яку можна знайти як лінію регресії:

$$a_B = k_B \cdot t + b_B. \quad (2)$$

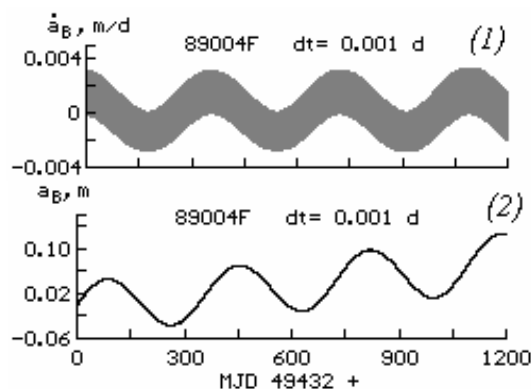


Рис. 5. Швидкість зміни похідної великої піввісі (1) і великої піввісі (2) НГО 89004F в інтервалі 3.3 роки під дією відбитого від Землі сонячного випромінювання.

Лінії регресії визначалися для 16 НГО з каталогу [6] за отриманим з певним кроком Δt масивом значень a_B на інтервалі ~ 15 років. Лінія регресії для кожного НГО проходила через початок координат, $b_B \approx 0$. Коефіцієнт k_B (швидкість зміни a_B) завжди додатній і пропорційний S/m :

$$k_B = 0.0139 \cdot S/m, \quad (3)$$

$\rho = 0.993$. Піввісь a_B також збільшується пропорційно S/m . Для каталожних НГО ($0.0016 < S/m < 0.0370$ м²/кг) збільшення a_B за 100 років знаходиться в межах від **0.8** м до **18.8** м. Середнє відхилення a_B від (3): $\sigma = 0.073 \pm 0.075$. Дія **В** приводить до незначних вікових змін a_B геосинхронного супутника.

Зміна великої піввісі a_i НГО під дією власного інфрачервоного випромінювання

Землі (рис. 6) має добову гармоніку. Амплітуда A_K цих короткоперіодичних коливань дуже мала (у НГО 89004F $A_K \approx 0.2$ мм). Вона може змінюватися. Зміна a_i має також лінійну складову $a_i = k_i \cdot t$, $\rho = 0.999994 \pm 0.000015$. Відхилення σ точок від лінії регресії близьке середньому A_K ($\sigma = 0.0007$ м ± 0.0004 м) і пропорційне S/m . Розрахунки проводилися для 16 НГО на інтервалі 15 років. Коефіцієнт k_i (а також a_i) пропорційний S/m :

$$k_i = 0.0189 \cdot S/m, \quad (4)$$

$\rho = 0.99989$. З формул (3) і (4) слідує, що вікові зміни в русі НГО під дією **І** трохи більші, ніж під дією **В**. Збільшення a_i за 100 років знаходиться в межах від **1.1** м до **25.6** м.

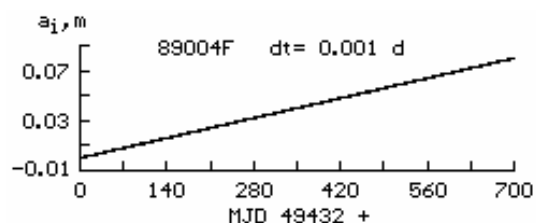


Рис. 6. Зміна великої піввісі a_i НГО 89004F в інтервалі близько 2 років під дією інфрачервоного випромінювання Землі.

Зміна ексцентриситету e НГО

На рис. 7 показано зміну e_T і його похідної \dot{e}_T НГО 74017F на інтервалі 3^d, а на рис. 8 їх зміну у НГО 89004F на інтервалі 3.3 роки в результаті проходження НГО через тінь Землі.

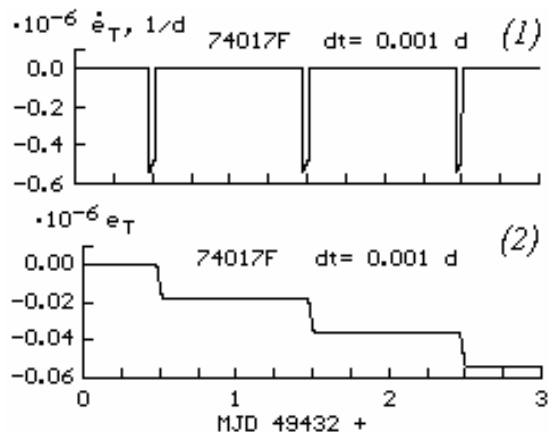


Рис. 7. Зміна (1) похідної ексцентриситету \dot{e}_T і (2) ексцентриситету e_T під дією проходження НГО 74017F через тінь Землі в інтервалі 3 діб.

На рис. 7 (2) видно, що під дією T ексцентриситет e_T зменшується. Але зменшення e_T весною компенсується його збільшенням восени, рис. 8 (2). В результаті коефіцієнт k_T лінійної складової зміни e_T близький нулю, вікові зміни e_T майже відсутні. Для кожного з 16 НГО за множиною значень e_T на інтервалі 10 років знаходили лінію регресії $e_T = k_T \cdot t + b_T$, де $k_T = 0.000120 \pm 0.000864$. Це означає, що за 100 років e_T може змінитися на $(4.3 \pm 31.5) \cdot 10^{-6}$. Відхилення σ значень e_T від лінії регресії, зумовлені, в основному, річними коливаннями e_T , $\sigma = (1.6 \pm 1.42) \cdot 10^{-6}$. Відхилення σ корелюють з S/m , $\rho = 0.83$.

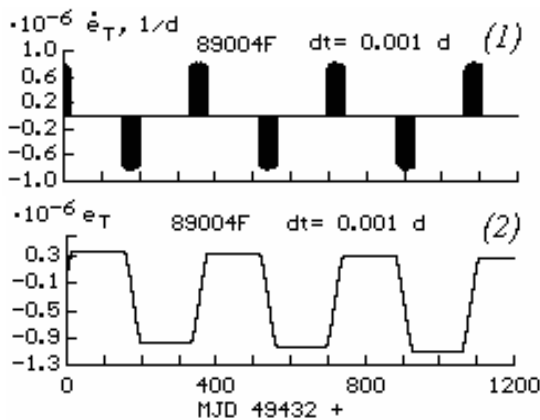


Рис. 8. Зміна (1) похідної ексцентриситету \dot{e}_T і (2) ексцентриситету e_T під дією проходження НГО 89004F через тінь Землі в інтервалі 1200 діб.

Зміна ексцентриситету e_B НГО під дією відбитого від Землі сонячного випромінювання на невеликих проміжках часу має такий самий вигляд, як зміна a_B , рис. 2 (2). Амплітуда A_d річних коливень невелика. Вона пропорційна S/m ($A_d = 21.98 \cdot 10^{-6} \cdot S/m$, $\rho = 0.991$) і не більша $A_d = 0.76 \cdot 10^{-6}$.

Лінію регресії $e_B = k_B \cdot t + b_B$ зміни e_B визначали за значеннями e_B на інтервалі ~ 15 років. За даними 16 НГО $k_B = (-0.000022 \pm 0.000151) \cdot 10^{-6}$ за добу. За 100 років e_B зміниться на $\Delta e_B = (-0.8 \pm 5.5) \cdot 10^{-6}$. Отже, на великих часових інтервалах e_B може повільно збільшуватися або зменшуватися, що можна пояснити похибкою обчислень.

Зміна ексцентриситету e_i НГО під дією власного інфрачервоного випромінювання Землі подібно до a_i (рис. 6) має лише

добову гармоніку з невеликою амплітудою A_K , яка лінійно залежить від S/m : $A_K = 0.11468 \cdot 10^{-6} \cdot S/m$, $\rho = 0.994$. В каталожних НГО A_d знаходиться в межах від $0.00018 \cdot 10^{-6}$ до $0.00430 \cdot 10^{-6}$.

Ексцентриситет e_i НГО не має вікових змін. Розрахунки значень e_i проводилися на інтервалі 15 років. Визначалася лінія регресії e_i від часу. За даними 16 НГО $k_i = (-10 \pm 29) \cdot 10^{-14}$ за добу. За 100 років e_i зміниться на $\Delta e_i = (-0.004 \pm 0.011) \cdot 10^{-6}$. Зміна e_i знаходиться теж в межах похибки.

Зміна аргументу перигею ω НГО

На малих проміжках часу в результаті проходження НГО через тінь Землі аргумент перигею ω_T НГО змінюється стрибками подібно до E_K (рис. 7). На великих інтервалах ω_T змінюється періодично (але не гармонічно) з періодом ~ 1 рік (рис. 9). Амплітуда A_d постійно змінюється відповідно до зміни ω .

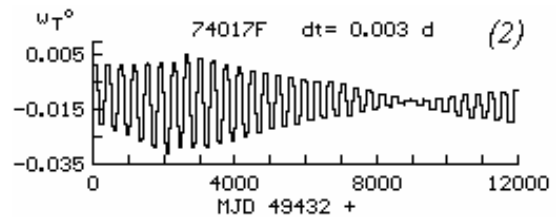


Рис. 9. Зміна аргументу перигею ω_T НГО 74017F на інтервалі 33 роки в результаті проходження через тінь Землі.

Під дією тяжіння Місяця і неоднорідності гравітаційного поля Землі ω збільшується лінійно з швидкістю $\sim 0.0258^\circ/d$ зі слабкими періодичними коливаннями окрім околів тих точок, де нахил орбіти $i \approx 0$ [7]. За ~ 19.2 роки ω зміниться на 180° . Там, де ω перетворюється в нуль (або $360^\circ \cdot n$), A_d також зменшується до нуля, а при $\omega \approx 180^\circ$ A_d максимальне (рис. 9).

Дослідження ω_T проводилося лише по 11 НГО, в яких на досліджуваному 10-річному інтервалі ексцентриситет $e \neq 0$. Коефіцієнт k_T лінійної складової $\omega_T = k_T \cdot t + b_T$ зміни ω_T близький нулю: $k_T = (-1.50 \pm 9.22) \cdot 10^{-6}$, тобто за 100 років ω_T зміниться на $\Delta \omega_T = 0.055^\circ \pm 0.337^\circ$, вікові зміни ω_T відсутні. Різниця між максимальним і мінімальним значенням ω_T в інтервалі 10 років

складає $0.287^\circ \pm 0.282^\circ$. Вона корелює з S/m .

Криві зміни аргументу перигею ω_B НГО і його похідної $\dot{\omega}_B$ під дією відбитого від Землі сонячного випромінювання мають такий самий вид, як у a , e і їх похідних, рис. 5, рис. 2 (2), рис. 3 (2), ω_B має річну гармоніку і слабо виражену лінійну складову. Амплітуда $A_d = 0.031^\circ \pm 0.030^\circ$. Вона слабо корелює з S/m і з невеликим від'ємним коефіцієнтом кореляції з e .

Лінійні складові $\omega_B = k_B \cdot t + b_B$ шукали на інтервалі ~ 15 років. Для окремих НГО цей інтервал вкорочували, щоб виключити області, де $e \approx 0$. За даними 16 НГО $k_B = (1.7 \pm 6.2) \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ/\text{d}$. Отже, за 100 років ω_B зміниться на $\Delta\omega_B = 0.06^\circ \pm 0.22^\circ$, що доводить відсутність вікових змін ω_B .

Зміна аргументу перигею ω_i НГО під дією інфрачервоного випромінювання Землі має лише добову гармоніку з відносно великою амплітудою (рис. 10). Визначали ω_i для 16 НГО на інтервалі ~ 15 років за виключенням тих областей, де $e < 0.0001$. Амплітуда A_K залежить від e_i . При зміні e_i від 0.02 до 0.0001, відповідно, зростала A_K від $0.2 \cdot 10^{-6}$ до $230 \cdot 10^{-6}$ град. Середнє $A_K = 0.000081^\circ$.

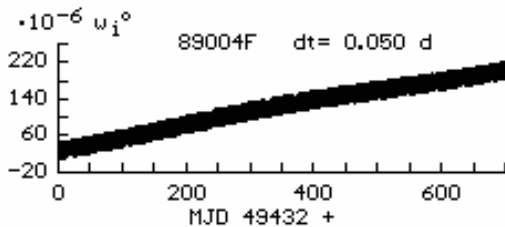


Рис. 10. Зміна аргументу перигею ω_i НГО 89004F в інтервалі близько 2 років під дією інфрачервоного випромінювання Землі.

За даними 16 НГО ω_i збільшується з швидкістю $k_i = (0.485 \pm 0.461) \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ/\text{d}$, за 100 років ω_i зросте на $0.029^\circ \pm 0.017^\circ$. Коефіцієнт k_i залежить від S/m , $\rho = 0.9$.

Зміна нахилу орбіти

Зміни нахилу орбіти i_B під дією відбитого сонячного і власного інфрачервоного випромінювання Землі, як і довготи висхідного вузла Ω , дуже малі. В інтервалі декількох днів – це величини порядку 10^{-20} градуса. Тому в більшості

випадків їх можна не приймати до уваги.

Відчутні зміни в i_B спостерігаються при проходженні НГО через тінь Землі. Вони мають періодичну (не гармонічну) складову з періодом 0.5 року і лінійну складову $i_T = k_T \cdot t$, $\rho = -0.995 \pm 0.003$, (рис. 11). В різних НГО k_T змінюється в межах від $-0.0017 \cdot 10^{-6}$ до $-0.1327 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ/\text{d}$. Нахил i_T в окремих НГО за 100 років може зменшитися на **0.0045**°.

Незважаючи на високий коефіцієнт ρ , зміна i_T відбувається не лінійно, а як парабола 2-го або 3-го порядку. Відхилення σ значень i_T від параболічної кривої зміни i_T , знайденої за принципом найменших квадратів в інтервалі 10 років, в різних НГО знаходиться в межах від $0.10 \cdot 10^{-6}$ до $10.29 \cdot 10^{-6}$ град. Відхилення σ залежить від k_T : $\sigma = 81.52 \cdot |k_T| - 0.5543 \cdot 10^{-6}$ град. ($\rho = 0.987$). Величина σ зумовлена в основному періодичними (з періодом 0.5 року) коливаннями значень i_T .

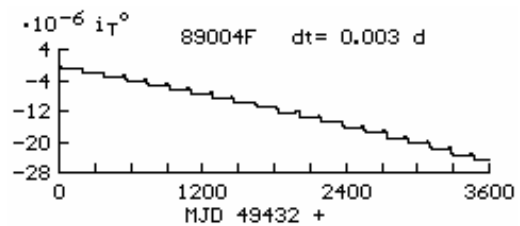


Рис. 11. Зміна нахилу орбіти i_T НГО 89004F в інтервалі майже 10 років в результаті проходження його через тінь Землі.

Коефіцієнт k_T лінійно залежить від S/m ($\rho = -0.70$) і від середнього на даному інтервалі (10 років) нахилу $i_{\text{сер}}$ ($\rho = -0.61$). Залежність k_T від їх добутку має високий коефіцієнт кореляції: $k_T = -0.2460 \cdot 10^{-6} \cdot (S/m \cdot i_{\text{сер}}) + 0.0078 \cdot 10^{-6}$, $\rho = -0.96$.

Довгота висхідного вузла

Криві зміни вузла Ω_T і похідної $\dot{\Omega}_T$ в результаті проходження НГО через тінь Землі на інтервалі кількох днів мають вид кривих змін e_T і \dot{e}_T (рис. 7). Довгота Ω_T змінюється періодично (але не гармонічно) з періодом 0.5 року (рис. 12). Стрибки кривої вниз відбуваються весною і осінню, тоді щоденно відбуваються переходи НГО через тінь Землі. Висота стрибків пропорційна нахилу орбіти НГО. На великих ін-

тервалах часу середнє значення $\overline{\Omega}_T$ зменшується, рис. 12. На інтервалі до 5 років зміну $\overline{\Omega}_T$ можна вважати лінійною і знайти лінію регресії: $\overline{\Omega}_T = k_T \cdot t + b$. За даними 15 НГО коефіцієнт $|k_T| < 0.25 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ/\text{d}$, $\rho = -0.91 \pm 0.08$.

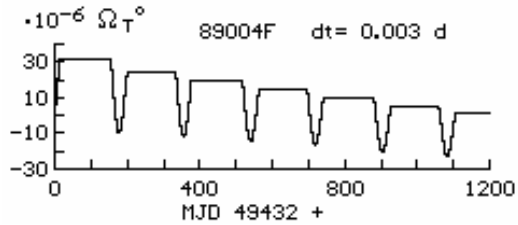


Рис. 12. Зміна довготи висхідного вузла Ω_T НГО 89004F в інтервалі 3.3 років в результаті проходження супутника через тінь Землі.

За 100 років зменшення $\overline{\Omega}_T < 0.01^\circ$. При цьому k_T в різних НГО змінюється пропорційно добутку $i \cdot S/m$, $\rho = 0.85$. Середню амплітуду піврічних коливань Ω_T можна оцінити відхиленням σ значень Ω_T від полінома 3-го степеня, знайденого за принципом найменших квадратів: $\sigma = (20 \pm 16) \cdot 10^{-6}$ град. Спостерігається слаба кореляція σ з коефіцієнтом $|k_T|$.

Середня аномалія

В даному випадку при збуреному русі НГО розглядалася не середня аномалія M , а її зміна. Тому у виразі рівняння Лагранжа [5] для \dot{M} не враховувався перший член цього рівняння, рівний середньому рухові n .

Зміна середньої аномалії M_T в результаті проходження НГО через тінь Землі на невеликих інтервалах часу відбувається так само, як зміна Ω_T і e_T (рис. 7). На інтервалах в декілька років криві зміни M_T дуже подібні до кривих для ω_T (рис. 9), M_T негармонічно змінюється з періодом 0.5 року. Амплітуда A_d велика, особливо при малому e . При $e = 0.000063$ вона може досягати 1° . Амплітуду A_d можна оцінювати відхиленням σ значень M_T від лінії регресії. За даними 16 супутників середнє на інтервалі 10 років значення $\overline{\sigma} = 0.2^\circ$.

Лінійну складову можна знайти як лінію регресії: $M_T = k_T \cdot t + b$. Коефіцієнт

$k_T = (46 \pm 114) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ/\text{d}$. Він корелює з σ . За 100 років M_T може змінитися на $1.7^\circ \pm 4.2^\circ$ – величина лише на порядок більша від амплітуди річних коливань значень M_T .

Криві зміни середньої аномалії M_B і похідної \dot{M}_B під дією відбитого від Землі сонячного випромінювання подібно до зміни ω_B , a_B і \dot{a}_B , рис. 2 (2), рис. 3 (2) і рис. 5, мають періодичну негармонічну складову з періодом $\sim 1^d$, гармонічну складову з періодом 1 рік, а також лінійну складову, в якій $k_B = (1.01 \pm 6.17) \cdot 10^{-6}$ град., тобто за 100 років M_B може змінитися на $\Delta M_B = 0.037^\circ \pm 0.225^\circ$ – величина такого самого порядку, як $\Delta \omega_B$.

Гармонічні коливання M_B з періодом 1 рік мають велику амплітуду A_d . В НГО з малим ексцентриситетом A_d може досягати 0.24° . За даними 15 НГО середнє в 10-річному інтервалі $A_d = 0.047^\circ$.

Крива зміни середньої аномалії M_i під дією інфрачервоного випромінювання Землі має гармоніку з періодом $T_k = 1^d$ і лінійну складову. На великих інтервалах часу M_i змінюється подібно до ω_i , рис. 10. Амплітуда A_k сильно залежить від e_i . За даними 16 НГО середнє значення $A_k \approx 0.00045^\circ$, але при малих e ($e = 0.000063$) вона може становити 0.003° .

Коефіцієнт k_i лінійної складової залежить від S/m ($\rho = -0.9994$). За даними 16 НГО $k_i = (-2.35 \pm 1.37) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ/\text{d}$. За 100 років M_i зменшиться в середньому на 0.086° , відхиляючись від цього значення, за даними 16 НГО, до $\pm 0.5^\circ$.

Висновки

Внаслідок проходження НГО через тінь Землі велика піввісь a постійно зменшується. Зменшення пропорційне відношенню S/m і може складати 0.5 км за 100 років. Під дією відбитого поверхнею Землею сонячного світла і інфрачервоного випромінювання Землі піввісь a збільшується, але значно повільніше – в сумі не більше 0.05 км за 100 років.

Вікових змін ексцентриситету e під дією розглянутих трьох збурюючих факторів не виявлено. Але відчутні річні коливання e : весною e збільшується,

восени – зменшується. Амплітуда цих коливань не перевищує 0.000003.

Зміни аргументу перигею ω під дією випромінювання від Землі за 100 років не виходять за межі (-0.02° , $+0.3^\circ$). В результаті проходження НГО через тінь Землі помітні лише річні коливання ω , що залежать від величини ω . При $\omega = 180^\circ$ їх амплітуда A максимальна і може досягати 0.3° . При $\omega \approx 0^\circ$ амплітуда $A \approx 0^\circ$.

Нахил орбіти i та довгота висхідного вузла Ω НГО змінюються лише внаслідок

його проходження через тінь Землі: вони зменшуються зі швидкістю, що не перевищує 0.01° за 100 років.

В результаті проходження через тінь Землі середня аномалія M може змінюватися в різних НГО з швидкістю від -0.2° до $+0.3^\circ$ за 100 років. Зміни M під дією відбитого світла майже співпадають зі змінами ω як за характером, так і за величиною. Під дією інфрачервоного випромінювання M може змінитися за 100 років на 0.5 градуса в додатну або від'ємну сторону.

Література

1. Кудак В.И., Климик В.У. Епишев В.П. // *Астрофизический бюллетень*. – Том 65, №3. – САО, 2010. – С. 317-325.
2. Кудак В.И., Климик В.У. і ін. // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія Ракетно-космічна техніка*. – №4. Вип.13, том 2, – Дніпропетровськ: ДНУ, 2009. – С. 16-21.
3. Клімник В.У., Єпішев В.П. і ін. // *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. – Ужгород: УжНУ, 2008. – вип.23. – С. 164–171. http://www.nbu.gov.ua/portal/natura/Nvuu/Fiz/2008_23/Klim.pdf
4. Клімник В.У., Єпішев В.П. і ін. // *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. – Ужгород: УжНУ, 2009. – вип.25. – С. 187–194.
5. Арнольд К. *Методы спутниковой геодезии*. – Москва: «Недра», 1973. – 224 с.
6. Сочилина А.С., Киладзе Р.И., Григорьев К.В., Вершков А.Н. *Каталог орбит геостационарных спутников*. – С.-Петербург: ИТА РАН, 1996. – 104 с.
7. Клімник В.У., Кудак К.А. і ін. // *Наук. вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. – Ужгород: УжНУ, 2002. – Вип.12. – С.14–26.

VARIATIONS IN MOTION OF GEOSYNCHRONOUS OBJECTS AS A RESULT OF INFLUENCE ON THEM OF RADIATING FROM EARTH AND THEIR PASSING THROUGH EARTH'S SHADE

V.P. Yepishev, V.U. Klimyk, I.I. Motrunich

Uzhhorod National University, Laboratory of space researches
Daleka Str. 2a, 88000, Uzhhorod, Ukraine

The problems of existence of secular variations in elements of orbit of a uncontrolled geosynchronous satellite under Earth radiation effect and satellite passing through Earth's shade are esteemed. The values of such variations are investigated. Secular variations under operating of these disturbing factors are very small. So the semimajor axis decreases on 0.5 kms per 100 years.

Key words: a gravitational astronomy, geosynchronous satellites.

ИЗМЕНЕНИЯ В ДВИЖЕНИИ ГЕОСИНХРОННЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЛИЯНИЯ НА НИХ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЗЕМЛИ И ИХ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТЕНЬ ЗЕМЛИ

В.П. Епишев, В.У. Климик, И.И. Мотрунич

Ужгородский национальный университет, Лаборатория космических исследований
ул. Далекая, 2а, 88000, Ужгород

Рассматривается вопрос существования вековых изменений в элементах орбит неуправляемых геосинхронных спутников под действием излучения от Земли и его прохождения тени Земли. Исследуются величины таких изменений. Вековые изменения под действием этих возмущающих факторов очень малы. Так большая полуось уменьшается на 0.5 км в 100 лет.

Ключевые слова: небесная механика, геосинхронные спутники.