



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B64G 1/10 (2022.08); B64G 1/007 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022122287, 17.08.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.08.2022

Дата регистрации:
12.01.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.08.2022

(45) Опубликовано: 12.01.2023 Бюл. № 2

Адрес для переписки:
662972, Красноярский край, г. Железногорск,
ул. Ленина, 52, АО "ИСС", Морозов Егор
Александрович

(72) Автор(ы):

Афанасьев Сергей Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество "Информационные
спутниковые системы» имени академика
М.Ф.Решетнёва" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2558959 C2, 10.08.2015. RU
2721812 C1, 22.05.2020. RU 2284950 C2,
10.10.2006. FR 2982045 B1, 27.12.2013. KR
100782269 B1, 04.12.2007.

(54) СПОСОБ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области космической техники, а именно к удержанию космического аппарата (КА) на рабочей позиции без помех другим КА и мониторингу смежного КА (СКА). Достигается это тем, что мониторинговый КА (МКА) располагают от СКА на расстоянии вдоль орбиты до порядка $1,5^\circ$ в области удержания по долготе протяженностью порядка $0,2^\circ$, свободной от сторонних КА либо имеющей не более одного

стороннего КА, что более чем достаточно для простого нахождения на геостационарной орбите. Со сторонним КА организуют долготную коллокацию и проводят МКА непосредственный круглосуточный мониторинг СКА приемом излучения, исходящего от этого СКА на уровне боковых лепестков высокого порядка. Достигается возможность проводить мониторинг СКА одним МКА. 3 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
B64G 1/10 (2022.08); B64G 1/007 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022122287, 17.08.2022**

(24) Effective date for property rights:
17.08.2022

Registration date:
12.01.2023

Priority:

(22) Date of filing: **17.08.2022**

(45) Date of publication: **12.01.2023** Bull. № 2

Mail address:

**662972, Krasnoyarskij kraj, g. Zheleznogorsk, ul.
Lenina, 52, AO "ISS", Morozov Egor
Aleksandrovich**

(72) Inventor(s):

Afanasev Sergei Mikhailovich (RU)

(73) Proprietor(s):

**Aksionernoe obshchestvo «Informatsionnye
sputnikovyje sistemy» imeni akademika
M.F.Reshetneva» (RU)**

(54) **A METHOD FOR BALLISTIC SUPPORT OF SPACECRAFT MONITORING IN GEOSTATIONARY ORBIT**

(57) Abstract:

FIELD: space technology.

SUBSTANCE: invention relates to the field of space technology, namely, to keeping a spacecraft in a operational position without interfering with other spacecraft and monitoring an adjacent spacecraft. This is achieved by the fact that the monitoring spacecraft is located from the adjacent spacecraft at a distance along the orbit to about 1.5° in the area of longitude retention with a length of about 0.2°, free from third-party spacecraft or having no more than one third-party

spacecraft, which is more than enough for a simple stay in geostationary orbit. Longitude collocation is organized with a third-party spacecraft and direct 24H monitoring of the adjacent spacecraft is carried out by receiving radiation emanating from this adjacent spacecraft at the level of high-order side lobes.

EFFECT: present invention enables to monitor the adjacent spacecraft with one monitoring spacecraft.

1 cl, 3 dwg

RU 2 787 796 C 1

RU 2 787 796 C 1

Предлагаемое изобретение относится к области космической техники, и может быть использовано для удержания геостационарного КА на рабочей орбитальной позиции без помех другим КА и мониторинга смежного КА (СКА).

Технической проблемой при эксплуатации КА на геостационарной орбите (ГСО) является нахождение этого КА в узком диапазоне долгот в состоянии коллокации с тремя и более КА. Никаких способов многоцелевой коллокации не существует. Как там, в этой долготной области сосуществуют КА, и подчас КА, принадлежащие различным государствам – вопрос пока риторический, но с любой стороны настоятельно требуется некий регламент ответственной коллокации. Под ГСО будем понимать околостационарную орбиту, с эксцентриситетом не более 0,0005.

Как правило, коллокацию КА проводят по согласованным схемам. Все схемы-аналоги сводятся к равноудалению точек прицеливания векторов $e_n [e_n, (\Omega+\omega)_n]$ ($n=1, 2, \dots$) и $i_n [i_n, \Omega_n]$ ($n=1, 2, \dots$) в соответствующих фазовых плоскостях КА и поддержанию концов векторов e_n и i_n внутри соответствующих областей выбранных радиусов, центрами которых являются соответствующие точки прицеливания. Идеальным вариантом считается для двух КА разнесение долгот восходящих узлов (Ω_n) и прямых восхождений перигеев $(\Omega+\omega)_n$ точек прицеливания на 180° , причем аргументы широты перигеев КА должны быть близки нулю. Для трех КА цифру 180 заменяют на 120. Такой принцип коллокации общеизвестен, он следует из уровня техники. Однако за кажущейся простотой схем скрывается сложная и затратная процедура управления векторами коллокации.

Коллокация рассматривается как способ управления движением центров масс, гарантирующий от столкновений КА. Эта задача актуальна, но только в принципе, и удовлетворительно решается для двух КА (даже при нулевых наклонениях) при условиях:

$$\begin{cases} \Omega_1 \approx \Omega_2 \text{ и: } \omega_1 \approx 0, \omega_2 \approx \pi; \text{ или } \omega_1 \approx \pi, \omega_2 \approx 0; \\ \Omega_2 \approx \Omega_1 \pm \pi \text{ и: } \omega_1 \approx 0, \omega_2 \approx \pi; \text{ или } \omega_1 \approx \pi, \omega_2 \approx 0, \end{cases} \quad (1)$$

то есть тогда, когда восходящие узлы орбит равны либо разнесены на 180° , для каждой из орбит линия узлов совпадает с линией апсид, направления на перигеи взаимно противоположны. Гарантированное минимальное межспутниковое расстояние, при реальном эксцентриситете орбит КА порядка 0,00015, составляет 12,6 км.

Другая задача коллокации – не мешать находящимся рядом КА работать по целевому назначению. Если ориентироваться на условия (1), в районах узлов орбит, при практически одинаковых периодах обращения (отклонение от звездных суток редко когда составляет более 5 с), возникают взаимно попеременные помехи связи космических аппаратов с Землей.

И такая задача наилучшим образом для двух КА решается при условиях:

$$\Omega_1 \approx \Omega_2 \pm \pi/2 \text{ и: } \omega_1 \approx \omega_2 \approx 0; \text{ или } \omega_1 \approx \omega_2 \approx \pi, \quad (2)$$

то есть тогда, когда для каждой из орбит линия узлов перпендикулярна линии апсид, и линии узлов взаимно перпендикулярны. Центры управления всеми КА, находящимися в единой области удержания по широте и долготе, следуют единой стратегии коллокации, обмениваясь баллистической информацией.

Однако для гарантированной коллокации требуется перманентный процесс обмена баллистической информацией между центрами управления КА. Такой процесс может давать сбои, и сбои обязательно будут происходить. Кроме того, нельзя исключать

принципиальную невозможность взаимодействия между центрами управления КА. Проще находиться в состоянии автономной коллокации: когда к процессу коллокации не привлекаются другие КА и их центры управления. При постановке такой задачи следует учитывать, что линия узлов и линия апсид орбиты смежного КА(СКА) могут пересекаться под произвольным углом. Далее по тексту под «автономным» КА подразумевается КА, «взявший» на себя всю ответственность по коллокации в заданной области удержания по широте и долготе.

Баллистические сведения о СКА и задачу разнесения векторов наклонения и эксцентриситета в режиме автономной коллокации возможно получать и решать, например, используя данные – результаты измерения параметров орбиты от международной системы слежения за спутниками, раскрывающими тактику и стратегию удержания СКА. Эта система работает без ошибок повиткового прогнозирования, главной составляющей которых является реализация удержания КА с помощью двигателей системы коррекции. Ошибки по e , i , ω более чем удовлетворительны.

Задача автономной коллокации, как показывают геометрия расположения составляющих элементов векторов наклонения и эксцентриситета в инерциальном пространстве и расчеты межспутниковых расстояний, оптимальным образом решается при условиях:

$$\Omega_1 \approx \Omega_2 \pm \pi/2 \text{ и } \omega_1 \approx \omega_2, (3)$$

где индекс «1» соответствует «автономному» КА, индекс «2» соответствует СКА, то есть тогда, когда линии узлов орбит «автономного» и СКА пересекаются под прямым углом, линии апсид орбит «автономного» и СКА пересекаются под прямым углом, угол рассогласования между прямым восхождением перигея и восходящим узлом орбиты СКА равен углу рассогласования между прямым восхождением перигея и восходящим узлом орбиты «автономного» КА.

Сводные результаты расчетов межспутниковых расстояний, при принятых за основу начальных условиях движения двух КА:

- сидерические периоды обращения – 86164,1 с;
 - эксцентриситет орбит – 0,00020;
 - наклонение орбит – 1,5 угл.мин,
- показывают, что соблюдение условий (3) и допуска на минимальное межспутниковое расстояние в 8 км, технически осуществимо.

Автономная коллокация на принципах (3) позволяет также рассогласование по любому из условий (3) относительно номинала 90° до 25° .

Востребованной является также идея мониторинга одного КА другим КА, предписывающая «автономному» КА находиться на безопасном технологическом и физическом расстоянии от СКА и заниматься непосредственным мониторингом последнего на суточном интервале в течение максимально возможного времени. Непосредственный мониторинг СКА на суточном интервале в течение максимально возможного времени приводит к дополнительным сверх оговоренных затратам по управлению центром масс «автономного» КА. Далее по тексту «автономный» КА, занимающийся мониторингом или (и) управлением другим КА, - мониторинговый КА (МКА).

Баллистические сведения о СКА и задачу коллокации с ним, помимо вышеуказанного варианта определения параметров орбиты с использованием международной системы слежения за спутниками, можно получать и решать с использованием собственных наземных астросредств, а также, придавая системе навигации и управления движением МКА комплект приемо-передающей радиоаппаратуры по измерению дальности и

оптический звездный датчик углового положения.

Известен способ мониторинговой коллокации на ГСО (RU 2721812 C1, МПК В64G1/10, В64G1/26, В64G3/00), включающий измерения параметров орбиты каждого КА, определение по ним текущих значений орбитальных элементов каждого КА, сброс
5 данных на Землю и управление МКА – в оптическом диапазоне, выявление за время до приведения МКА в заданную область удержания по долготе по данным независимых траекторных измерений стратегии управления движением центра масс СКА и проведение с помощью двигателей малой тяги коррекций параметров орбиты, отличающийся тем, что разрабатывают проект мониторинговой коллокации, исходя из концептуальных
10 условий:

$$g_{\text{ГСО}} - \omega_{\text{ГСО}}^2 \cdot r_{\text{кр}} = a_{\text{РДК}}; \quad (4)$$

$$r_{\text{кр}} < r_{\pi \text{ СКА}}, \quad (5)$$

15 где $g_{\text{ГСО}}$ – ускорение свободного падения на ГСО, км/с²;

$\omega_{\text{ГСО}}$ – угловая скорость движения по ГСО, с⁻¹;

$r_{\text{кр}}$ – радиус круговой орбиты МКА, км;

$a_{\text{РДК}}$ – ускорение от непрерывной работы радиальных двигателей коррекции (РДК),
20 позволяющее МКА двигаться по круговой орбите радиуса $r_{\text{кр}} < r_{\text{ГСО}}$ с угловой скоростью движения по ГСО, км/с²;

$r_{\pi \text{ СКА}}$ – минимальный возможный радиус перигея орбиты СКА в заданных условиях нахождения СКА на орбитальной позиции, км,

находят компромиссные значения $r_{\text{кр}}$ и $a_{\text{РДК}}$, системе коррекции МКА придают два
25 РДК малой тяги с расположением их на полуоси минус X связанной с КА системы координат (полуось минус X направлена на центр Земли) так, чтобы направления векторов тяги в пределах точности установки двигателей проходили через центр масс МКА, бортовому приемо-передающему комплексу придают приемную антенну с
30 расположением ее на полуоси плюс X связанной с КА системы координат, в процессе приведения на орбитальную позицию мониторинга и удержания СКА, коррекциями орбиты МКА достигают круговой орбиты радиуса $r_{\text{кр}}$, в течение всего этапа мониторинга СКА проводят последовательные включения одного и второго РДК на время, не превышающее разрешенной техническими условиями на двигатель
35 максимальной длительности непрерывной работы, при этом время включения последующего РДК всегда раньше времени выключения работающего РДК на интервал подготовки РДК к работе (интервал выхода тяги на рабочий режим), штатными двигателями коррекции осуществляют поддержание МКА на линии СКА-Земля.

Идея аналога состоит в использовании ускорения РДК для нахождения МКА под
40 СКА при средней угловой скорости полета МКА равной средней угловой скорости полета СКА и других КА в области коллокации.

Технический результат здесь достигается за счет того, что при включенном двигателе коррекции околокруговой орбиты, вектор тяги которого направлен в одном из взаимно противоположных радиальных направлений, не оказывается никакого влияния на
45 большую полуось орбиты по определению, следовательно – на угловую скорость полета ([1] В.А.Одинцов, В.М.Анучин, Маневрирование в космосе, М.: Воениздат, 1974, стр. 52, 23), но подбором ускорения радиальным двигателям можно в течение времени, пока они попеременно работают, находиться на заданном удалении от строго ГСО (или на

гарантированной дистанции от всех КА, находящихся в фазовой плоскости $[\Delta L; \Delta r]$, поскольку сложение ускорения свободного падения от гравитационного влияния Земли и ускорения от работающего двигателя это позволяют.

Линейная скорость на ГСО:

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{\mu}{r_{кр}}}, \quad (6)$$

где μ - гравитационный параметр Земли, $398600 \text{ км}^3/\text{с}^2$.

При одной и той же угловой скорости на ГСО и на любой иной, круговой околоstationарной орбите:

$$\omega^2 = \frac{\mu}{r_{ГСО}^3} = \frac{\mu'}{r_{кр}^3}, \quad (7)$$

где μ' – необходимое значение гравитационного параметра, чтобы выполнялось условие равенства угловых скоростей на ГСО и околоstationарной круговой орбите, $\text{км}^3/\text{с}^2$.

Эту скорость надо поддерживать, чтобы не уйти с ГСО, то есть – не уйти из области удержания по долготе. Все рабочие КА, находящиеся в данной области, совершают эволюции с целью стабилизации угловой скорости, соответствующей ГСО. Между МКА и всеми остальными КА (во всяком случае, если их больше двух) следует создать гарантированную, окончательную зону отчуждения. В фазовом околоstationарном пространстве $[\Delta r; \Delta \varphi; \Delta L]$ установочных ограничений нет только в радиальном направлении.

Умножим обе части уравнения (7) на некий радиус круговой орбиты $r_{кр}$:

$$\frac{\mu}{r_{ГСО}^3} r_{кр} = \frac{\mu'}{r_{кр}^3} r_{кр}. \quad (8)$$

Левая и правая части соотношения (8) представляют одну и ту же величину – ускорение свободного падения на выбранной круговой орбите радиуса $r_{кр}$ с «измененным» гравитационным параметром Земли. Различие в ускорениях свободного падения на ГСО и околоstationарной круговой орбите (равно как различие в гравитационных параметрах) необходимо компенсировать работой двигателей МКА, иначе условие (7) невыполнимо. Так получается формула (4).

Оценим затраты рабочего тела системы коррекции МКА. Наиболее эффективной в отношении удельного импульса следует считать электрореактивную двигательную установку с ксеноном в качестве рабочего тела. Стационарные плазменные двигатели (СПД), предназначенные для удержания и обычной коллокации, имеют одинаковый удельный импульс с РДК. Тягу плазменных РДК считаем 17 Гс или $0,166 \text{ Н}$. Среднюю массу геостационарного специализированного КА, не имеющего мощного ретрансляционного комплекса на борту, как на КА связи, можно оценивать в максимум $2,5 \text{ т}$, без учета запасов ксенона на мониторинговую коллокацию. Допустимую массу, не требующую дополнительных мер выведения и довыведения на околоstationарную орбиту примем $3,25 \text{ т}$. Рассматривая $3,25 \text{ т}$ и $2,50 \text{ т}$ как начальную и конечную массу МКА при работе РДК, ускорения от работы РДК не будут являться величинами постоянными и могут составить за срок активного существования от $5,1$ до $6,6$ на 10^{-5} м/с^2 . Приращение характеристической скорости за год составит 1609 м/с и 2083 м/с соответственно. Это $27 - 35$ норм (норма 60 м/с) классического удержания геостационарного КА по широте и долготе с элементами классической же коллокации.

И это, в свою очередь, при номинальном расходе ксенона $5,5 \cdot 10^{-6}$ кг/с и усредненной ежедневной суммарной длительности штатных СПД 1,5 ч (при одинаковом с РДК удельном импульсе тяги), составляет от 292 до 378 кг ксенона за год, то есть максимально возможный расход ксенона 750 кг перекрывает максимальный практический расход ксенона (378 кг) ровно в 2 раза. Значит, срок активного существования МКА, до разработок более мощных средств выведения КА на стационарную орбиту, может составлять не более 2 лет.

В процессе эксплуатации МКА за счет уменьшения запасов рабочего тела радиус круговой орбиты будет постепенно снижаться, что в принципе создает лучшие условия для мониторинга СКА. При начальном ускорении $5,1 \cdot 10^{-5}$ м/с² согласно уравнению (4) $r_{кр}$ составляет 42154,6 км. Среднее расстояние между МКА и СКА в начале мониторинговой коллокации составляет 10,5 км. Это хороший результат. В отношении баллистического обеспечения (БО): такое межспутниковое расстояние соответствует 31 – 32 секундам по периоду обращения в фазовой плоскости [Т; ΔL], что является непреодолимым препятствием к опасному сближению КА – при сближении на самое минимальное вероятное расстояние, даже при области удержания $\pm 0,1^\circ$ относительно рабочей орбитальной позиции, разница в периодах обращения будет составлять 10 с.

Следует отметить, что способ-аналог требует непрерывной (и попеременной) работы пары РДК, поскольку именно такая работа РДК имитирует измененный гравитационный параметр в практической небесной механике.

Важной особенностью аналога является то, что такой вариант БО мониторинга и удержания СКА решает задачу коллокации МКА в единой области удержания с каким угодно количеством геостационарных КА. Это возможно потому, что МКА движется по особенной орбите, имеющей нулевой эксцентриситет и гарантированно меньший радиус круговой орбиты в сравнении с радиусами перигеев СКА и других КА, не позволяющий другим КА пересекать орбитальный круг МКА.

Иметь такую особенность – значит иметь значительные затраты рабочего тела в системе коррекции. Срок активного существования МКА сокращается до 2 лет. Но задача удовлетворительного и с высоким качеством исполнения мониторинга СКА того стоит. РДК могут работать на фоне выполнения целевой задачи приема/передачи, поскольку аккумуляторные батареи и вся система энергопитания геостационарных связных КА, размещенные на МКА, такие нагрузки в начальный период их активного существования (это два года и более) выдерживают.

Известен способ мониторинговой коллокации на ГСО (RU 2558959 C2, МПК В64G1/10, В64G1/24), который взят за прототип. Согласно данному способу, включающему переводы векторов наклона и эксцентриситета на границы разнесенных относительно друг друга областей прицеливания (областей допустимого изменения векторов наклона и эксцентриситета), измерения параметров орбиты каждого КА, определение по ним текущих значений орбитальных элементов каждого КА и проведение с помощью двигателей малой тяги коррекций периода обращения, наклона и эксцентриситета орбиты, отличающемся тем, что для организации автономной от СКА коллокации за время до приведения МКА в заданную область удержания по широте (наклоению) и долготе по данным независимых траекторных измерений выявляют стратегию управления движением центра масс СКА, в процессе удержания уточняют положение центра области прицеливания по наклоению СКА, линии узлов и линии аписид орбит МКА и СКА должны быть соответственно ортогональны, и сумма эксцентриситетов орбит должна составлять порядка 0,0004, для чего проводят регулярные коррекции

орбиты МКА с целью удержания концов векторов наклоения и эксцентриситета в соответствующих областях прицеливания, проводят коррекции долготы (периода) для того, чтобы начало координат [$\Delta L; \Delta \tau$ – соответственно отклонение вдоль орбиты и отклонение по радиус-вектору] совпадало в заданных пределах с центром эллипса дистанцирования от СКА, на МКА переопределяют центры областей прицеливания при корректировке стратегии управления движением центра масс СКА и при нарастании углов рассогласования между линиями апсид и линиями узлов орбит МКА и СКА, в случаях опасного сближения КА проводят коррекции уклонения, представляющие собой одновременные коррекции долготы и эксцентриситета орбиты, при снижении уровня приема на МКА излучения антенн, установленных на СКА переходят в режим приема информации для СКА с наземных антенн, в случае уверенного непрерывного приема на МКА излучения антенн, установленных на СКА, в течение 12 часов, непосредственный круглосуточный мониторинг СКА осуществляют, по возможности, двумя МКА, установленными на диаметрально противоположных сторонах эллипса дистанцирования от СКА, передачу данных мониторинга с МКА на Землю, а также контроль и управление МКА, по возможности, осуществляют с использованием оптического диапазона волн.

Как показывают расчеты (которые может провести каждый) относительное движение двух КА имеет вполне определенные закономерности (баллистика относительного движения КА), а именно:

1 – проекция относительного движения одного КА на плоскость орбиты другого КА – эллипс – эллипс дистанцирования, в начале координат которого находится «неподвижный» КА;

2 – отношение малой полуоси к большой полуоси эллипса дистанцирования составляет 1:2 (фиг. 1);

3 – смещение на величину ΔL вдоль орбиты (по долготе в Гринвичской Системе Координат, положительное направление – на восток) одного из КА при условиях (3) приводит к смещению с тем же знаком центра прежнего эллипса дистанцирования на величину ΔL вдоль координатной оси «Отклонение вдоль орбиты», и при условиях:

$$\Omega_1 \approx \Omega_2 \pm \pi/2 \text{ и } \omega_1 \approx \omega_2 \pm \pi/2 \quad (9)$$

одна из больших полуосей прежнего эллипса дистанцирования изменяется на величину двойного ухода вдоль орбиты, а малая ось эллипса в два раза меньше большой оси;

4 – эллипс дистанцирования всегда ориентирован большой полуосью вдоль координатной оси «Отклонение вдоль орбиты»;

5 – при изменении эксцентриситетов орбит КА большая и малая полуоси эллипса дистанцирования определяются из соотношений:

$$a' = a' \frac{e_1'' + e_2''}{e_1' + e_2'}; \quad (10)$$

$$b'' = b' \frac{e_1'' + e_2''}{e_1' + e_2'}, \quad (11)$$

где индексы «'» и «''» относятся ко времени соответственно до и после орбитальных маневров;

a', a'' - соответственно большие полуоси до и после орбитальных маневров, км;

b', b'' - соответственно малые полуоси до и после орбитальных маневров, км;

e_1, e_2 - эксцентриситеты орбит соответственно первого и второго КА.

Прототип состоит из двух частей:

1) – баллистическая часть, предлагающая совмещение СКА и МКА по долготе и организацию автономной от СКА коллокации;

2) – радиотехническая часть, предоставляющая возможность снимать информацию с СКА.

5 Для оценки реализуемости способа-прототипа определим относительные уровни излучения, которые может принимать МКА, обращаясь вокруг исследуемого СКА, а также ориентировочные значения угла «Земля-СКА-МКА» (ЗСМ), в пределах которого МКА сможет выполнять возложенную на него задачу. Поскольку на современных спутниках связи и ретрансляции данных используется большая номенклатура бортовых
10 антенн с шириной диаграммы направленности (ДН) в основном от 1° до 18° , рассмотрение начнем с самых узких лучей.

В соответствии с идеей данного способа МКА должен находиться вне конуса радиовидимости Земли с СКА, вершиной которого является точка нахождения СКА на ГСО, а образующие конуса являются практически касательными к поверхности
15 Земли, проведенными из вершины данного конуса. Все антенные лучи, используемые для связи с Землей, имеют такую ориентацию в пространстве, что их ДН по уровню половинной мощности (а именно по этому уровню определяется ширина ДН) не выходят за пределы указанного конуса, угол при вершине которого составляет $17,3^\circ$. В этом случае, проводя анализ, например, для луча с шириной ДН 1° следует ориентироваться
20 на то, что МКА должен будет принимать излучение от такого луча на уровне боковых лепестков высокого порядка. Целесообразно воспользоваться приведенной в Регламенте радиосвязи, том 2, издание 2008 года, с. 578, эталонной диаграммой направленности спутниковых антенн, предназначенной в основном для оценки электромагнитной совместимости с другими спутниками связи (фиг. 2). Диаграмма на фиг. 2 в форме
25 кривой 1 дает представление об относительном усилении антенны спутника на уровнях от основного лепестка до первых боковых, а прямая 2 соответствует уровню отдаленных боковых лепестков более высокого порядка. Угол φ_0 на данной диаграмме соответствует ширине луча по уровню половинной мощности, а угол φ – углу отклонения от осевого излучения луча (в нашем случае, это угол ЗСМ). Из фиг. 2 следует, что для значений
30 относительного угла (φ/φ_0) от 10 до 60 уровень излучения антенны может быть принят на уровне на 43 дБ ниже (или на уровне минус 43 дБ) относительно уровня излучения вдоль оси луча. Применительно к рассматриваемому в качестве примера лучу с $\varphi_0 = 1^\circ$ можно сказать, что излучение на уровне минус 43 дБ будет наблюдаться в диапазоне
35 углов φ от 10° до 60° относительно оси луча. В дальнейшем будет показано, что имеются потенциальные возможности для увеличения размеров данного диапазона. Очевидно, что для более широких лучей СКА излучение на данном уровне будет наблюдаться в пропорционально более широком секторе углов φ .

Однако необходимо принять во внимание, что для значений φ от 90° до 180° оценить
40 уровень излучения для антенн, установленных на корпусе СКА, крайне затруднительно вследствие затенения этого излучения корпусом спутника и крупными элементами его конструкции. В то же время антенны, расположенные, например, на вынесенных штангах, в этом секторе углов φ способны создать в окружающем пространстве излучение, уровень которого, в первом приближении, также может быть порядка минус
45 43 дБ.

Теперь необходимо оценить возможность приема на МКА излучений СКА на 43 дБ ниже максимального уровня, создаваемого вдоль оси луча. Для этого будем исходить из того, что СКА создает на границе своей зоны обслуживания (на линии пересечения

конуса радиовидимости с Землей) плотность потока мощности (ППМ) такой величины, которая требуется для уверенного приема земными станциями сигналов с СКА. При этом $ППМ = ЭИИМ_{СКА} / 4\pi d^2$, где $ЭИИМ_{СКА}$ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность СКА, равная произведению мощности передатчика на коэффициент усиления антенны, а d – протяженность радиолинии. Поскольку указанная ППМ создается для условий связи на расстоянии 35,8 тыс. км, то при сокращении этого расстояния до предполагаемых 20 км (расстояние между МКА и СКА) ППМ для МКА должна была бы возрасти в $(35800/20)^2 = 3,2 \cdot 10^6$ раз или на 65 дБ (то есть $10 \lg 3,2 \cdot 10^6$), если бы МКА находился в пределах связного луча антенны СКА. Однако, как было определено выше, коэффициент усиления антенны СКА в направлении МКА будет иметь значение, на 43 дБ ниже, чем для станций на поверхности Земли. Тем не менее, в итоге значение ППМ для МКА оказывается в данном случае на $65 - 43 = 22$ дБ больше.

Полученный энергетический выигрыш в уровне ППМ может быть использован для повышения вероятности приема сигналов с СКА и расширения сектора приема этих сигналов. Это связано с тем, что форма диаграммы направленности реальных антенн характеризуется как основным лепестком ДН, так и боковыми лепестками, максимальный уровень которых постепенно снижается с увеличением угла φ . Прямая 2 на фиг. 2 в некоторой степени олицетворяет как раз максимальный уровень дальних боковых лепестков. Вместе с тем, между максимумами соседних боковых лепестков существуют относительные минимумы ДН с уровнями примерно на 10 дБ ниже уровня предыдущего максимума, поэтому полученный выше энергетический выигрыш может быть использован как для компенсации потерь уровня сигнала в минимумах ДН, так и для компенсации постепенного снижения уровней максимумов дальних боковых лепестков.

В определенной мере энергетический выигрыш может быть при необходимости использован и для варьирования расстояния между МКА и СКА.

Таким образом, проведенная оценка реализуемости предлагаемого способа указывает на возможность осуществления приема на МКА излучений СКА в относительно широком секторе углов ЗСМ даже при использовании на СКА достаточно узких антенных лучей шириной порядка 1° .

Для обеспечения выполнения МКА задач в соответствии с прототипом на нем потребуется установить два блока приемных антенн, первый из которых обращен в сторону СКА и обеспечивает прием излучаемых СКА сигналов, а другой обращен в сторону Земли и обеспечивает перехват сигналов, предназначенных для СКА. Соответственно, на борту МКА также должна быть установлена передающая антенна для передачи на Землю результатов мониторинга.

Тип и характеристики упомянутых групп приемных антенн выбираются на основе данных о радиотехнических характеристиках СКА (диапазоны частот, уровни передаваемых сигналов) и данных о взаимном расположении МКА и СКА (секторы обзора), что позволит охватить весь спектр контролируемых излучений во всем секторе углов мониторинга СКА. Какие это будут антенны, как они обеспечивают прием сигналов в заданных секторах мониторинга – с помощью ли широкой диаграммы направленности или путем сканирования в этих секторах узким лучом – не так важно, важно, что первый блок имеет механический привод, качающий его в диапазоне $\pm 45^\circ$ для лучшего приема сигналов с СКА.

Вообще, два МКА решают задачу круглосуточного съема информации с СКА при максимально допустимом угле ЗСМ 90° .

Для сброса данных мониторинга на Землю, по возможности, целесообразно использовать оптический диапазон волн. Тем самым отпадает необходимость в получении радиочастотных присвоений для МКА и, кроме того, оптические радиолинии, благодаря очень узким передающим лучам, обеспечивают практически абсолютную скрытность передачи информации и ее защищенность от перехвата. Оптический диапазон волн может быть использован также для контроля и управления МКА. Необходимая для этого приемопередающая аппаратура в настоящее время уже используется на ряде зарубежных и отечественных КА. Атмосфера Земли не является помехой, если станция приема будет расположена в высокогорье (там, например, сейчас располагается станция приема информации с российских блоков МКС, передаваемых по оптическому каналу). Здесь присутствует четкое разграничение: мониторинг СКА осуществляется МКА в радиодиапазоне, сброс данных на Землю и управление МКА – в оптическом диапазоне. Обе функции (мониторинг и сброс; управление) получают практически идеальную электромагнитную совместимость (развязку).

Если оптический диапазон использовать нецелесообразно, применяют радиодиапазон со штатной схемой электромагнитной совместимости.

Прототип решает задачи и коллокации, и мониторинга, однако не гарантирует налаженную типовую работу по решению этих задач - при наличии в данной области рабочей орбитальной позиции более двух КА (МКА, СКА) задача коллокации становится трудноосуществимой, а при наличии в области более трех КА задача коллокации вообще уже не стоит. Такая ситуация будет иметь место, и такую ситуацию надо всегда иметь в виду. Мониторинг СКА, как бы там ни было, делать необходимо.

При разнесении по долготе можно рассчитывать на круглосуточный прием сигналов с СКА «по перпендикуляру».

Технической проблемой изобретения является создание способа БО МКА на ГСО, гарантирующего пользователю комфортные и гарантирующие удовлетворительные результаты условия мониторинга на орбите. Указанная техническая проблема решается за счет того, что в способе БО мониторинга КА на ГСО, включающем измерения параметров орбиты каждого космического аппарата (КА), определение по ним текущих значений орбитальных элементов каждого КА и проведение с помощью двигателей малой тяги коррекций орбиты, использование блока приемных антенн на мониторинговом КА (МКА), обращенных в сторону смежного КА (СКА), передачу данных мониторинга с МКА на Землю, а также контроль и управление МКА, по возможности, с использованием оптического диапазона волн, введены новые операции, заключающиеся в том, что на удалении от рабочей позиции СКА, позволяющем принимать сигналы с СКА должного качества, находят область удержания по долготе (ОУД), внутри которой не более одного стационарного КА, приводят (переводят) МКА в данную ОУД, при наличии там стороннего КА организуют с ним долготную коллокацию и проводят одним МКА непосредственный круглосуточный мониторинг интересующего СКА приемом излучения, исходящего от этого СКА на уровне боковых лепестков высокого порядка.

Изобретение направлено на технический результат – наименее затратную развязку орбиты МКА со всеми орбитами СКА и уверенный круглосуточный прием сигналов одним МКА с интересующего СКА в радиодиапазоне.

Технический результат достигается за счет того, что при плотной заселенности ГСО (на сегодня на ГСО в рабочем фазовом пространстве $[\Delta L; \varphi; \Delta r]$ находятся порядка 650 действующих КА, и допустим еще 650 КА, прекративших свое активное существование и не уведенных с ГСО, средняя плотность освоения ГСО составляет от 0,27 до 0,28

градусов на один КА) участки ГСО востребованы неравномерно. Реальная плотность населения определенных участков ГСО заставляет заниматься коллокацией, в то время как другие протяженные участки, расположенные в основном над акваториями океанов, могут не иметь вообще ни одного КА. Появляется возможность выбора свободного

5 от КА или занятого только одним КА участка ГСО протяженностью порядка $0,2^0$ для стояния МКА на дистанции от СКА, позволяющей, как в прототипе, принимать излучаемые с СКА сигналы.

На фиг. 3 представлена схема мониторинга СКА. Введены следующие обозначения:

3 – СКА;

10 4 – область удержания по долготе (ОУД) СКА;

5 – мониторинговый канал связи МКА-СКА;

6 – ОУД МКА;

7 – МКА;

8 – сторонний КА;

15 9 – ГСО;

10 – связной канал с наземными пунктами.

Отличительные признаки изобретения.

1. Находят приемлемое удаление МКА 5 от СКА 3 по долготе, при котором уровень принимаемого сигнала с передающих антенн интересующего СКА будет позволять

20 проводить его качественный мониторинг.

Привлечем в рассмотрение вышеприведенную радиотехническую часть прототипа. Необходимо, чтобы связь МКА 7 с СКА 3 была не хуже, чем связь СКА с Землей.

Предположим за приемлемое удаление МКА от СКА $1,5^0$ по долготе вдоль ГСО 9. Это

25 1103 км. Поскольку ППМ (плотность потока мощности) создается на СКА для условий связи на расстоянии 35,8 тыс. км, то при сокращении этого расстояния до

предполагаемых 1103 км ППМ для МКА должна была бы возрасти в $(35800/1103)^2 =$

$1,053 \cdot 10^3$ раз или на 30,2 дБ (то есть $10 \lg 1,053 \cdot 10^3$), если бы МКА находился в пределах

30 связного луча антенны СКА. Однако, как было определено выше, коэффициент усиления антенны СКА в направлении МКА будет иметь значение, на 43 дБ ниже, чем для

станций на поверхности Земли. Тем не менее, в итоге значение ППМ для МКА

оказывается в данном случае на $30 - 43 = -13$ дБ меньше максимума. Но из фиг. 2

следует, что это по качеству связи на 13 дБ ниже (или на уровне минус 13 дБ)

35 относительно уровня излучения вдоль оси луча СКА, что соответствует отношению φ/φ_0 равному 1, то есть когда угол ЗСМ (Земля-СКА-МКА) равен ширине ДН луча

СКА-Земля или, что то же самое – как если бы МКА находился на Земле в границах наиболее эффективной зоны радиовидимости СКА.

Возможны варианты в сторону увеличения или уменьшения удаленности МКА от

40 СКА. Но $1,5^0$ в ту или иную сторону от СКА по долготе – понятный и твердый ориентир при выборе ОУД 6 для МКА 7. Если ОУД найти не удастся, что маловероятно, можно для мониторинга привлечь прототип с его коллокацией, использующей эллипс дистанционирования.

2. На выбранном отдалении находят свободную от всех геостационарных КА ОУД

45 6, либо, если это не представляется возможным, находят ОУД с одним только КА, либо переходят к иным удалениям и соответствующим ОУД.

В отличие от прототипа (и аналога-способа) мониторинговой коллокации ОУД 6 (как и ОУД 4) не является общей для МКА и СКА.

3. МКА приводят, если МКА только выведен на ГСО, или переводят, если МКА уже находился на какой-либо рабочей позиции на ГСО, в выбранную ОУД 6.

Этот признак является существенным, он одно из действий с объектом, череда которых описывает способ во всей полноте без отсылки (что разрешено) в
5 ограниченительную часть формулы изобретения.

4. Если там уже находится один сторонний геостационарный КА 8, то организуют с ним один из возможных вариантов долготной коллокации.

Долготная коллокация – простое разнесение по долготе КА: либо по договоренности, когда общая ОУД делится на [равные] части со своими долготами стояния, либо по
10 умолчанию, когда места хватает всем. В этом случае нет образования и разнесения областей прицеливания по векторам наклона и эксцентриситета в единой для всех КА области удержания.

5. Проводят одним МКА непосредственный круглосуточный мониторинг интересующего СКА.

Долготное разделение полей эволюций СКА и МКА позволяет, помимо упрощения БО, более качественно проводить мониторинг. При весьма удовлетворительном уровне сигнала по мониторинговому каналу связи 5 (см. пункт 1) расстояние в тысячу километров на ГСО 9 делает схему мониторинга статичной: МКА 7 в своей ОУД 6 и СКА 3 в своей ОУД 6 имеют за счет эволюций своих параметров движения
20 относительные угловые перемещения $\pm 10,4$ минут, не более. Связь МКА с СКА становится круглосуточной и, в части БО, бесперебойной.

В отношении идентификации получаемой с СКА информации. ГСО заполнена сигналами с Земли для большого числа аппаратов, находящихся даже не на ГСО, и нахождение МКА рядом с СКА и даже «под СКА» не гарантирует получение
25 информации с Земли, предназначенной именно для СКА. Но задача эта вполне решаемая. Она выходит за рамки предлагаемого технического решения. Если в прототипе информация с СКА идентифицирует целевую информацию с Земли, приходящую на СКА и МКА по связному каналу 10, и обе суммы информации полезно дополняют друг друга и представляют единый суточный файл, не имеющий
30 потерь информации, то в данном техническом решении целевую информацию с СКА идентифицируют информацией с Земли по каналу 10. Процесс идентификации информации необходим ввиду засоренности эфира и определенных возможных усилий в отношении степени защищенности информации.

Заявленный способ позволяет проводить мониторинг одним МКА. Это решающее
35 отличие от способа-прототипа.

Мониторинг имеет высокую степень скрытности, поскольку МКА не «кружит» вокруг СКА, как в прототипе и находится на значительном отдалении от него, и между МКА и СКА на ГСО будет находиться немало других КА.

Заявленный способ не требует механического привода, качающего блок приемных
40 антенн для лучшего приема сигналов с СКА.

Оба способа: предлагаемый и прототип дополняют друг друга. Тем или иным способом задача мониторинга конкретного КА на ГСО будет обязательно решена без заметных дополнительных энергозатрат либо вообще без них.

45 (57) Формула изобретения

Способ баллистического обеспечения мониторинга космического аппарата на геостационарной орбите, включающий измерения параметров орбиты каждого космического аппарата (КА), определение по ним текущих значений орбитальных

элементов каждого КА и проведение с помощью двигателей малой тяги коррекций орбиты, использование блока приемных антенн на мониторинговом КА (МКА), обращенных в сторону смежного КА (СКА), передачу данных мониторинга с МКА на Землю, а также контроль и управление МКА, по возможности, с использованием оптического диапазона волн, отличающийся тем, что на удалении от рабочей позиции СКА, позволяющем принимать сигналы с СКА должного качества, находят область удержания по долготе (ОУД), внутри которой не более одного стационарного КА, приводят или переводят МКА в данную ОУД, при наличии там стороннего КА организуют с ним долготную коллокацию и проводят одним МКА непосредственный круглосуточный мониторинг СКА приемом излучения, исходящего от этого СКА на уровне боковых лепестков высокого порядка.

15

20

25

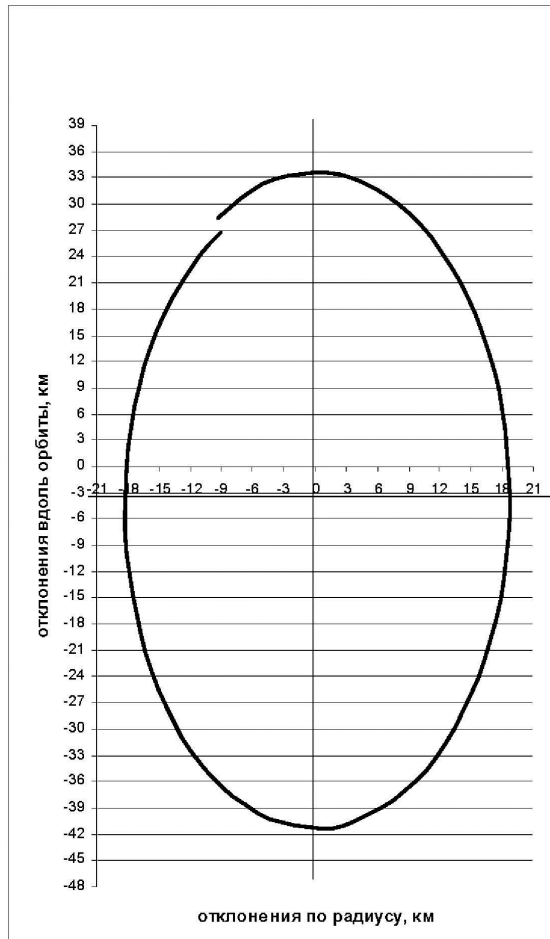
30

35

40

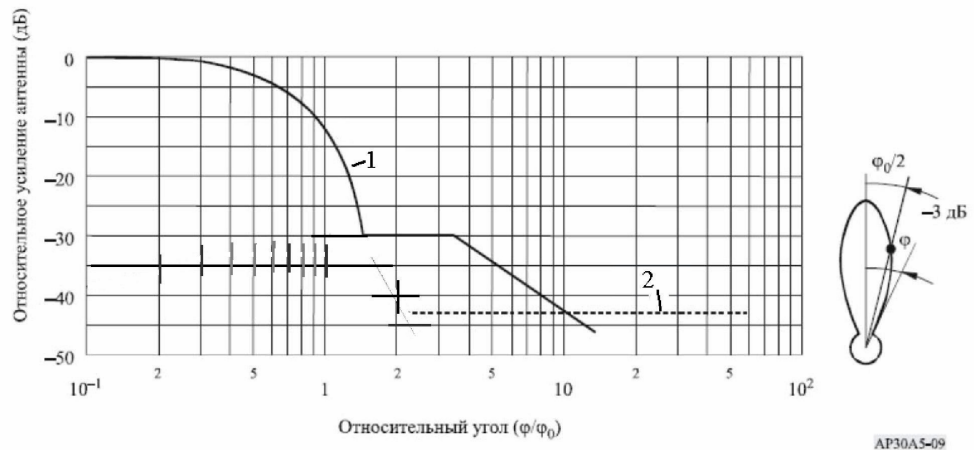
45

1

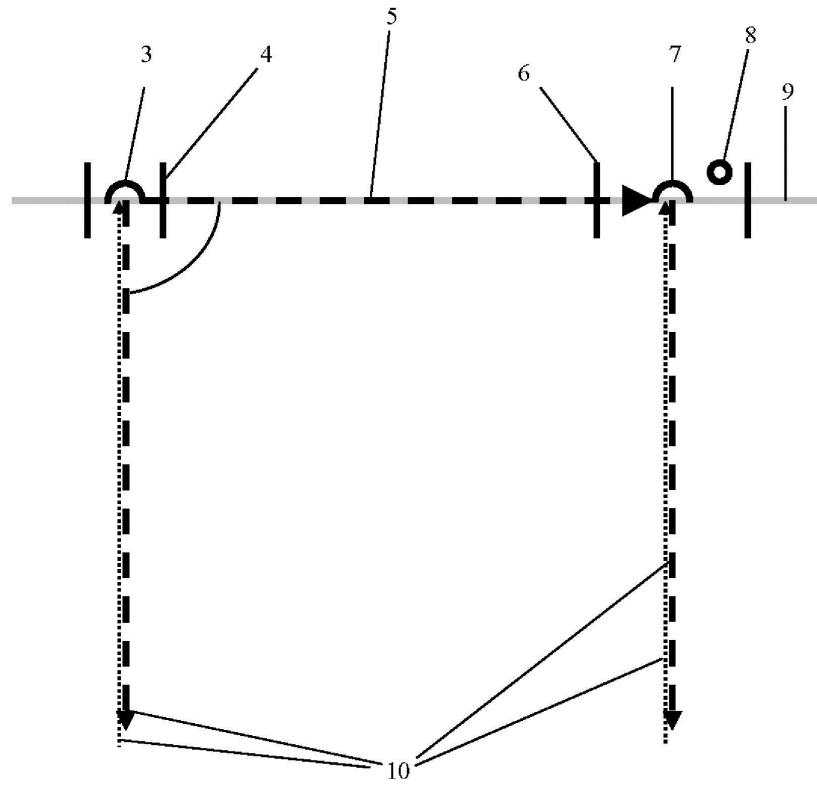


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3