



УКРАЇНА

(19) UA (11) 72416 (13) C2
(51) МПК (2006)
B64G 1/22

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ УХИЛЕННЯ КОСМІЧНОГО АПАРАТА ВІД ЗІТКНЕННЯ З НЕБЕЗПЕЧНИМ КОСМІЧНИМ ОБ'ЄКТОМ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

(21) 20031213275

(22) 31.12.2003

(24) 26.05.2008

(46) 26.05.2008, Бюл.№ 10, 2008 р.

(72) АВДЄЄВ ВОЛЬТ ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ДРОНЬ
МИКОЛА МИХАЙЛОВИЧ, UA, КУРІННИЙ ВАЛЕРІЙ
ВАЛЕРІЙОВИЧ, UA, ХОРОЛЬСЬКИЙ ПЕТРО ГЕО-
РГІЙОВИЧ, UA

(73) ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(56) JP, заявка №2001253400, B64G1/00,
B64G1/64, публ. 18.09.2001.

RU, патент №2112714, B64G1/24, публ.
10.06.1998.

RU, патент №2112715, B64G1/24, публ.
10.06.1998.

Алавердов В.В., Левицкий Ю.Е., Лукьященко В.И.
и др. Перспективы исследования проблем техно-
генного засорения околоземного космического
пространства // Космонавтика и ракетодинамика. -
2000. - №18. - С. 7-11.

Аппатов А.П., Белецкий В.В., Драновский В.И. Ди-
намика малых космических тросовых систем, ста-
билизированных вращением // Техническая меха-
ника. - 2001. - №1. - С. 85-100.

(57) 1. Спосіб ухилення космічного апарата від зіткнення з небезпечним космічним об'єктом, що заснований на збільшенні відстані між цими тілами до безпечної величини, який **відрізняється** тим, що перед входом у зону невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта космічний апарат розділяють на дві частини, з'єднують їх між собою нежорсткими зв'язками, наприклад тросами, розводять їх у протилежні боки один від одного і водночас випускають троси на довжину з можливістю проходження частин поза межами небезпечної зони, після чого довжини тросів зменшують до з'єднання частин у єдину вихідну конструкцію, при цьому небезпечну зону визначають об'єднанням зон невизначеності місцезнаходження об'єкта та апарата, наприклад, як геометричну суму середньоквадратичних відхилень характерних розмірів цих зон.

2

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що космічний апарат розділяють на частини, які є близькими за масою.

3. Спосіб за пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що троси виводять за межі небезпечної зони, наприклад, за допомогою важелів.

4. Спосіб за пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що частини космічного апарата розводять у площині, нормальній вектору відносної швидкості космічного апарата і небезпечного космічного об'єкта.

5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що частини космічного апарата розводять вздовж лінії перетину площини місцевого горизонту і площини, нормальної вектору відносної швидкості космічного апарата і небезпечного космічного об'єкта.

6. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що частини космічного апарата розводять вздовж напрямку мінімального діаметра проекції небезпечної зони на площину, нормальну вектору відносної швидкості космічного апарата і небезпечного космічного об'єкта.

7. Пристрій для ухилення космічного апарата від зіткнення з небезпечним космічним об'єктом, що включає нежорсткі зв'язки, наприклад троси, зв'язані з подільними частинами космічного апарата, та пристрій для виведення зв'язків за межі апарата, який **відрізняється** тим, що космічний апарат виконаний з двох частин, з'єднаних між собою нежорсткими зв'язками, наприклад тросами, між частинами космічного апарата встановлені штовхачі, наприклад пружини, щонайменше на одній частині встановлена електролебідка, на якій навиті троси, причому їх довжини складають більше подвоєного значення максимального характерного розміру зони невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта.

8. Пристрій за п. 7, який **відрізняється** тим, що троси укладені на важелях, наприклад висувних штангах, а довжина кожної штанги виконана більшою за максимальний характерний діаметр зони невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта.

9. Пристрій за п. 7, який **відрізняється** тим, що нежорсткі зв'язки виконані з пружними властивостями.

(13) C2

(11) 72416

(19) UA

Винахід належить до космічної техніки, конкретно - до космічних апаратів (КА), які рухаються на орбітах, де є значна ймовірність зіткнення з іншим космічним об'єктом (КО).

В результаті зростаючої космічної діяльності різних країн суттєво збільшується ймовірність зіткнення КО і КА, що може призвести до невиконання ним його функціонального призначення і, як наслідок, до значних матеріальних втрат.

На цей час відомі три способи захисту КА від зіткнення з будь-яким космічним об'єктом (КО): перехоплення його бортовими засобами [1], екранування і маневр ухилення [2]. Недоліки перших двох способів такі:

- перехоплення КО ефективне лише для великобаритних КА, тому що для проведення такої операції, яка супроводжується великими перевантаженнями, потрібно переривати роботу цільової апаратури, що знижує ефективність місії,

- екранування проводиться лише для частинок з лінійними розмірами до 1 см, для більших розмірів маса екранів недопустимо зростає і призводить до зниження ефективності експлуатації космосу.

Найбільш близьким аналогом є спосіб захисту КА від зіткнення з КО шляхом ухилення [2], тобто зміни цільової траєкторії руху на таку, що забезпечує збільшення відстані між ними до безпечної величини, та повернення на вихідну траєкторію по закінченню небезпеки. Ця зміна виконується за допомогою рушійної установки (РУ) КА. Незважаючи на універсальність та ефективність способу притаманні такі недоліки:

- зниження часу активного існування КА з-за витрачання робочого тіла (РТ) РУ на виконання маневрів ухилення замість цільових маневрів;

- неможливість проведення маневру ухилення після втрати всього РТ і зростання, внаслідок цього, ризику зіткнення;

- зниження цільової ефективності місії КА у зв'язку з необхідністю переривати роботу цільової апаратури на час проведення маневрів ухилення та повернення на вихідну орбіту через перебування апаратури не на цільовій траєкторії.

Відомі КА, оснащені РУ [1], екранами [3] та засобами перехоплення [1], недоліки використання яких співпадають з наведеними для способів, які вони реалізують.

Найбільш близьким аналогом є так звані тросові системи - декілька КА, зв'язаних між собою тросами [4]. Їхнім недоліком є те, що конструкція КА не має автономних засобів для ухилення від зіткнення та не передбачає технічної можливості повернення до вихідної (до розведення КА) конструкції.

В основу винаходу поставлена задача розробки способу ухилення КА від зіткнення з небезпечним КО, який виключає використання РУ і витрату РТ, тобто забезпечує ухилення незалежно від наявності запасів РТ і дії РУ, а також забезпечує знаходження цільової апаратури на цільовій орбіті під час маневру, чим виключає перерви в її роботі.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі ухилення космічного апарату від зіткнення з небезпечним космічним об'єктом, заснованому

на збільшенні відстані між цими тілами до безпечної величини, перед входом у зону невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта космічний апарат розділяють на дві частини, з'єднують їх між собою нежорсткими зв'язками, наприклад тросами, розводять їх у протилежні боки один від одного і водночас випускають троси на довжину з можливістю проходження частин поза межами небезпечної зони, після проходження небезпечної зони довжину тросів зменшують до з'єднання частин у єдину вихідну конструкцію, а небезпечну зону визначають об'єднанням зон невизначеності місцезнаходження об'єкта та апарата, наприклад, як геометричну суму середньоквадратичних відхилень характерних розмірів цих зон. Космічний апарат розділяють на частини, які є близькими за масою (оскільки відстані від центру мас на вихідній траєкторії зворотно пропорційні їхнім вагою). Щоб виключити ураження тросів КО, в способі троси виводять за межі небезпечної зони, наприклад за допомогою важелів. Для зменшення потрібної довжини тросів частини космічного апарату розводять у площині, нормальній вектору відносної швидкості космічного апаратури небезпечного космічного об'єкта. Щоб забезпечити перебування КА на заданій висоті польоту частини космічного апарату розводять вздовж лінії перетину площини місцевого горизонту і площини, нормальній вектору відносної швидкості космічного апарату і небезпечного космічного об'єкта. Для забезпечення мінімуму потрібної довжини тросів, в разі несферичної форми небезпечної зони, частини космічного апарату розводять вздовж напрямку мінімального діаметра проекції цієї зони на площину, нормальну вектору відносної швидкості космічного апарату небезпечного космічного об'єкта.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для реалізації способу ухилення, який включає нежорсткі зв'язки, наприклад, троси, зв'язані з поділюваними частинами космічного апарату, та пристрій для виведення зв'язків за межі апарату, космічний апарат виконаний з двох частин, з'єднаних нежорсткими зв'язками, наприклад тросами, між частинами космічного апарату встановлені штовхачі, наприклад пружини, щонайменше на одній частині встановлена електролебідка, на якій навіть троси, причому їх довжина складає більше подвоєного значення максимального характерного розміру зони невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта. Щоб вивести троси за межі небезпечної зони, в пристрої вони укладеш на важелях, наприклад висувних штангах, а довжини кожної штанги виконані більшими за максимальний характерний діаметр зони невизначеності місцезнаходження космічного об'єкта. Щоб зменшити потрібну потужність лебідки нежорсткі зв'язки виконані з пружними властивостями.

Суть винаходу продемонстрована на кресленнях.

На Фіг.1 зображено схему реалізації способу.

На Фіг.2 зображено схему однієї граничної реалізації способу.

На Фіг.3 зображено схему іншої граничної реалізації способу.

На Фіг.4 зображено конструкцію пристрою в статичному стані.

На Фіг.5 зображено конструкцію пристрою в задіяному стані.

На Фіг.6 зображено варіант реалізації способу при лобовому зіткненні.

Заявлений винахід реалізується в такий спосіб.

КА 1 (на Фіг.1) рухається по орбіті 2, яку перетинає КО 3 своєю орбітою 4 у місці 5. Відносні відстані малі, тому орбіти близькі до прямих, заданих векторами швидкості КА \vec{V}_e та КО \vec{V}_p . Умовами перетину є паралельність руху лінії відносного положення КА і КО 6 та рівняння

$$V_p \cos(z) = V_e \quad (1)$$

де

z - кут між векторами швидкості КА \vec{V}_e та КО \vec{V}_p .

Місцезнаходження КО 3 визначається з похибкою, тому на КА відомо лише його номінальну траєкторію 4 та зону невизначеності місця знаходження (ЗНМ) 7, яку можна апроксимувати просторовим паралелепіпедом 8, описаним навколо 7. КА 1 може перетинатись з КО 3 у будь-якому місці ЗНМ 8. Оскільки відповідно до шуканого технічного результату треба вивести апарат за межі перетину зони з площиною орбіти КА (щоб не ускладнювати малюнок Фіг.1 ЗНМ 8 зображає цей перетин), КА 1 розділяють на дві частини 9 і 10 та з'єднують їх нежорсткими зв'язками, наприклад тросами 11. При цьому центр мас (ЦМ) 12 КА в нерозділеному і в розділеному стані остається незмінним (як ЦМ системи його частин) і його рух також. В момент перетину орбіт 2 і 4 частини КА 9, 10 вже виведені за межі ЗНМ. Пошкодженими можуть бути лише троси 11, але ймовірність такої події набагато менше за зіткнення з КА (виходячи із співвідношення розмірів КА, КО і тросів та об'єму зони 8). Після проходження небезпечної зони (розглядаємо ЗНМ у будь-якій позиції, яка містить точку 5) частини КА з'єднують за допомогою зменшення довжини неушкоджених тросів в єдину вихідну конструкцію 13.

За рівнянням (1) швидкість переміщення лівої 14 (за розташуванням на Фіг.2, 3) та правої 15 границь ЗИМ 8 співпадає з швидкістю ЦМ 12 і частин КА 9, 10. В номінальний момент часу перетину орбіт 2 і 4, який відповідає точці 5, ЦМ 12 може бути в будь-якій випадковій точці відносно до границь ЗНМ 8 всередині неї. Фіг.2 ілюструє праве граничне положення ЦМ 12, а Фіг.3 - ліве. Дійсне розташування ЦМ невідоме. Тому, щоб виключити ураження частин КА, вони мають бути виведені за межі ЗНМ: для Фіг.2 ліва частина 9 - дещо за ліву границю зони 14, а права 10 (на Фіг.3) - дещо за праву 15. Таке розташування має бути при будь-якому розташуванні ЦМ 12 всередині ЗНМ 8, тому довжина тросів має бути більшою за подвоєне значення максимального характерного розміру d ЗНМ КО, як це видно із малюнків на Фіг.1...3. Розміри ЗНМ визначаються вимірювальними характеристиками спостережної апаратури, яка базується на КА або на Землі, і для всіх можливих КО будуть

однакові. Оскільки відносно розташування частин КА від його ЦМ при їх розведенні внутрішнім імпульсом сили зворотно пропорційно їхнім масам, то більш масивну частину треба відвести на відстань більшу за d . Тому для зменшення потрібних довжини і, як наслідок, маси троси частини КА виконують близькими за масою. Щоб виключити ще ураження і тросів, їх потрібно вивести за межі ЗНМ за допомогою висувних штанг, як описано нижче для пристрою, який реалізує спосіб.

На Фіг.4 показаний КА 1, виконаний з двох частин 9, 10, з'єднаних між собою тросами 11. Між частинами КА встановлені штовхачі, наприклад пружина 16, на частині 10 встановлена електролебідка 17, на валу 18 якої навиті троси 11, причому їх довжини складають більше подвоєного значення максимального характерного розміру ЗНМ КО d . На зовнішній поверхні КА 1 розташовані висувні штанги 19 у складеному стані. Троси укладені на пристрій для їхнього виведення за межі апарата, наприклад систему блоків 20.

Після виявлення можливості зіткнення КА 1 і КО 3:

- апарат 1 заздалегідь повертають поздовжньою віссю 21 пружини 16 у орієнтацію перпендикулярно до площини руху КО, \vec{V}_e ,

- запускають електролебідку 17, довжини тросів зростають,

- висуваються штанги і випускаються троси на достатню для початку розходження довжину,

- пружина розштовхує частини 9 і 10,

- під дією імпульсу сили від пружини частини розходяться на максимальну, задану довжиною тросів, відстань, як це показано на Фіг.5, де зображено КА 1 в розділеному стані під час пропуску КО 3 між тросами, довжина кожної штанги повинна бути більше максимального характерного розміру ЗНМ КО (з тих же міркувань що і до довжини тросів),

- КО 3 проходить між тросами 11,

- після зникнення небезпеки електролебідкою 17 зменшують довжину тросів до з'єднання відповідних поверхонь частин КА, штанги 19 стягують у вихідне положення,

- з'єднують частини КА у вихідну конструкцію 13 (Фіг.1),

- далі діють відповідно до програми польоту.

Таким чином, під час небезпеки оперативно розгортається система безпеки КА 1, причому без заплідювання РУ і розходу маси РТ. Джерелом енергії є система електропостачання. Електричну енергію можна "добувати" на орбіті на відміну від РТ ДУ які відновлюються тільки запусками КА - танкерів. Частини КА 1 залишаються на вихідній орбіті весь час польоту за винятком періодів розгортання та згортання тросів і штанг, а апаратуру КА продовжуватиме виконувати свою місію. Ймовірність зіткнення КА мала, потрібні маневри будуть рідкими, і запасу тросів вистачить на весь час активного існування апарату. На Фіг.6 зображено рух (зліва направо) КА 1 на траєкторії 2 при лобовому зіткненні з КО 3 (його траєкторія 4 фактично співпадає з 2): КА 1 повертають в площині горизонту на 90° , розводять по нормалі до площини його

орбіти, проходять ЗНМ 8 (сам КО 3 та його рух умовно не показано), з'єднують частини у вихідну конструкцію 1 і повертають у вихідну орієнтацію. Приклад лобового зіткнення відповідає випадку екстремальної для безпеки КА орієнтації відносно швидкості системи "КА-КО".

Джерела інформації

1. Ремеза А.И., Хекай В.М. Оценка возможности использования малых транспортных космических аппаратов для увода с геостационарной орбиты космических объектов, в том числе крупногабаритных элементов космического мусора // Космонавтика и ракетодинамика. - 2000. - №18. - С.187-192.

2. Перспективы исследования проблем техногенного засорения околоземного космического пространства / В.В. Алавердов, Ю.Е. Левицкий, В.И. Лукьященко и др. / Космонавтика и ракетодинамика. - 2000. - №18. - С.7-11.

3. Защита служебного модуля международной космической станции от метеорных и техногенных частиц / А.В. Горбенко, Л.В. Зинченко, Н.Г. Паничкин / Космонавтика и ракетодинамика. - 2000. - №18. - С.158-165.

4. Динамика малых космических тросовых систем, стабилизированным вращением / А.П. Алпатов, В.В. Белецкий, В.И. Драновский и др. / Техническая механика. - 2001. - №1. - С.85-100.

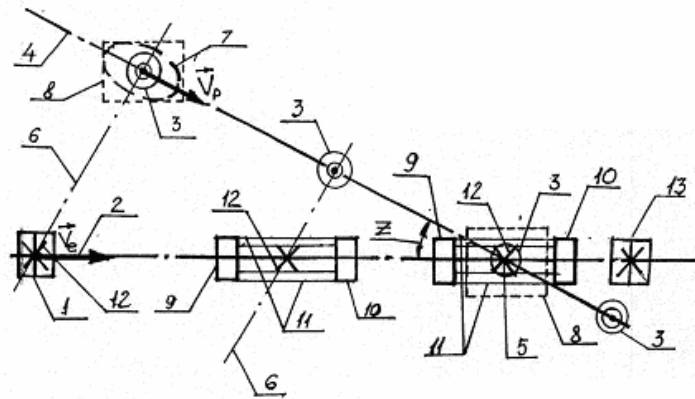


Fig.1

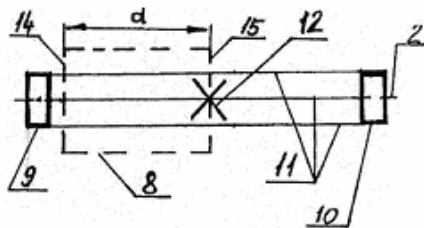


Fig.2

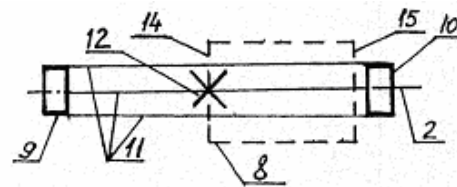


Fig.3

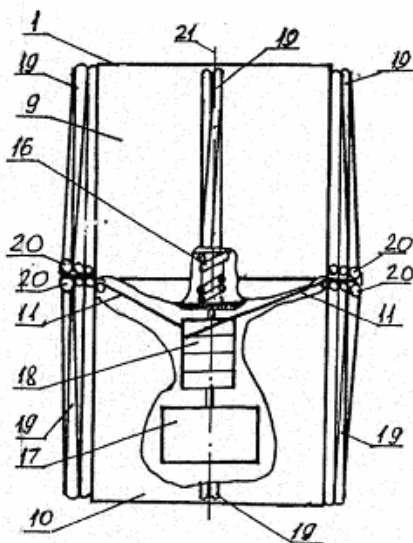


Fig.4

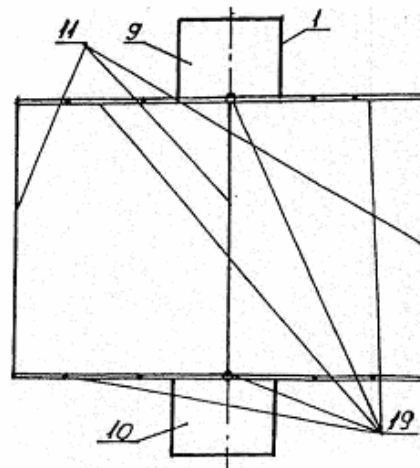
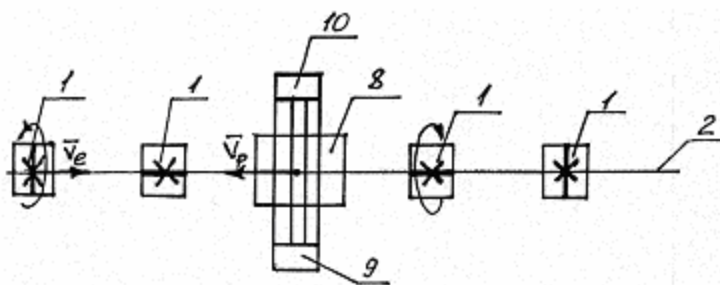


Fig.5



Фиг.6