



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **121460** (13) **C2**

(51) МПК

**B64G 1/24** (2006.01)

**B64G 1/62** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2016 07424</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>07.07.2016</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.06.2020</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>10.01.2018, Бюл.№ 1</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.06.2020, Бюл.№ 11</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Алпатов Анатолій Петрович (UA), Своробін Дмитро Сергійович (UA), Скорік Олександр Дмитрович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ І ДЕРЖАВНОГО КОСМІЧНОГО АГЕНТСТВА УКРАЇНИ,</b> вул. Лешко-Попеля, 15, м. Дніпро, 49005 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Bombardelli, C, Pelaez J. "Ion beam shepherd for contactless space debris removal." Journal of guidance, control, and dynamics 34, № 3, 2011, с. 916-920 NASA - Frequently Asking Questions: Orbital Debris [Інтернет-публікація], URL: <a href="https://web.archive.org/web/20151208174345/https://www.nasa.gov/news/debris_faq.html">https://web.archive.org/web/20151208174345/https://www.nasa.gov/news/debris_faq.html</a> (збережено WayBack Machine 08.12.2015, знайдено 13.06.2019) ГОСТ 4401-81 Атмосфера стандартная. Параметры. М.: Издательство стандартов, 1981. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. 2-е изд. – М.: Мир, 1985. – 520 с. Wormnes, Kjetil, et al. "ESA technologies for space debris remediation." 6th European Conference on Space Debris. Vol. 1. ESTEC, Noordwijk, The Netherlands: ESA Communications, 2013. ES 2365394 A1, 03.10.2011 RU 2568960 C1, 20.11.2015 US 2011/0302906 A1, 15.12.2011 US 4518137 A, 21.05.1985</p>
--	--

## (54) СПОСІБ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИДАЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КОСМІЧНОГО СМІТТЯ З НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБІТ З АЕРОДИНАМІЧНИМ КОМПЕНСАТОРОМ

### (57) Реферат:

Спосіб безконтактного видалення об'єктів космічного сміття з навколоземних орбіт з аеродинамічним компенсатором належить до космічної техніки, а саме до способів та систем усунення з навколоземних орбіт (НЗО) космічних об'єктів, наприклад неактивних космічних апаратів (КА), строк активного існування яких закінчився, і вони являють собою загрозу працюючим (КА). Технологія видалення космічного сміття з застосуванням системи, яка заявляється, передбачає направлене зміщення об'єкта космічного сміття (ОКС) з НЗО за

UA 121460 C2

рахунок безконтактного впливу на ОКС іонного потоку, який створюється і направляється іонним РД, встановленим на борту КАС, який знаходиться в безпосередній близькості від ОКС. На КАС замість додаткового РД встановлено аеродинамічний компенсатор сили тяги двигуна - джерела іонного потоку, який створює і направляє потік іонів на ОКС, який видаляється. Технічним результатом винаходу є збільшення ефективності видалення об'єкта космічного сміття з орбіти та зменшення маси КАС й затрат бортової енергії на видалення ОКС з орбіти.

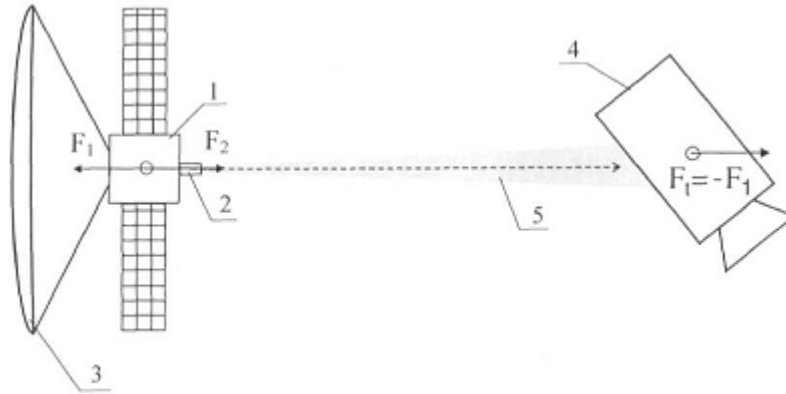


Fig. 2

Спосіб безконтактного видалення об'єктів космічного сміття з навколоземних орбіт з аеродинамічним компенсатором належить до космічної техніки, а саме до способів та систем усунення з навколоземних орбіт (НЗО) космічних об'єктів, наприклад, неактивних космічних апаратів (КА), строк активного існування яких закінчився, і вони являють собою загрозу працюючим (КА).

За даними Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору США (NASA) на липень 2015 р. на навколоземних орбітах знаходилось близько 17000 об'єктів техногенного походження, так званого космічного сміття [The Orbital Debris Quarterly News. NASAJSC Houston. - 2015. - Vol. 19, № 3. - P. 10.]. Робочою групою Міжагентського комітету по космічному сміттю (МККМ) проведено прогнозування зростання фрагментів космічного сміття на навколоземних орбітах [Virgili B.B. Active debris removal for LEO missions/ B.B. Virgili, H. Krag// Proceedings of 31st IADC meeting, Darmstadt, Germany, 18th of April, 2013], в результаті виявлено, що на даний час на НЗО висотою 500-1200 км космічне сміття знаходиться в нестійкому стані, і навіть, якщо всі космічні апарати, що запускаються, будуть сходити з орбіти протягом не більше 25 років, як це рекомендовано Керівними принципами МККМ, [IADC Space debris mitigation guidelines [Електронний ресурс]. IADC-2002-01. Revision 1/ Prepared by the IADC Steering Group and WG4 members. - 2003. - September. - P. 10. - Режим доступу: [http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs\\_pub](http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs_pub)], кількість фрагментів космічного сміття буде щорічно зростати. Для стабілізації ситуації було запропоновано [Virgili B.B. Active debris removal for LEO missions/ B.B. Virgili, H. Krag// Proceedings of 31st IADC meeting, Darmstadt, Germany, 18th of April, 2013] видаляти з навколоземних орбіт щорічно не менше 5 об'єктів розміром більше 10 см у перерізі. Видаляти космічне сміття пропонують різними способами та системами для їх здійснення, зокрема за допомогою космічних апаратів-сміттярів (КАС).

Для видалення космічного сміття запропоновано різноманітні способи та системи захоплення або безконтактної дії на об'єкти космічного сміття (ОКС) - у вигляді механічного або надувного маніпуляторів, гарпуна, полімерної або металічної сітки, концентрованого опромінювання потоку іонізованого газу та ін. Описи різних конструктивних схем космічних апаратів-сміттярів, які реалізують вказані способи, приведено в ряді джерел інформації, зокрема:

1. Патент № 6655637 США, МПК<sup>7</sup> B64G 1/62. Spacecraft for removal of space orbital debris/ E.Y. Robinson. - 10/179788; заявл. 24.06.2002; опубл. 02.12.2003.

2. Патент № WO 2011/110701 A1 Іспанія, МПК<sup>7</sup> B64G 1/24. System for adjusting the position and attitude of orbiting bodies using guide satellites/ C. Bombardelli, J. Pelaez. - PCT/ES2011/000011; заявл. 11.03.2010; опубл. 15.09.2011.

3. Bombardelli C. Ion beam shepherd for contactless space debris removal/ C. Bombardelli, J. Pelaez// Journal of guidance, control and dynamics, 2011. - Vol. 34, № 3. - P. 916-920.

4. Bombardelli C. Ariadna call for ideas: Active removal of space debris ion beam shepherd for contactless debris removal/ C. Bombardelli, M. Merino, E. Ahedo, J. Pelaez, H. Urrutxua, A. Iturri-Torreay, J. HerreraMontojoy// Technical report. - 2011.

5. Lappas V. et al. CubeSail: A low cost CubeSail based solar sail demonstration mission// Adv. Sp. Res., 2011. - Vol. 48, № 11. - P. 1890-1901.

6. Merino M. Ion beam shepherd satellite for space debris removal/ M. Merino, E. Ahedo, C. Bombardelli, H. Urrutxua and J. Pelaez// Progress in Propulsion Physics. - 2013. - Vol. 4. - P. 789-802.

7. Патент № 75540 Україна, МПК<sup>7</sup> B64G1/62. Пристрій для відведення космічних апаратів з орбіти/ О.С. Палій; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. - U201204438; заявл. 09.04.2012; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.

8. Патент № 107880 Україна, МПК<sup>7</sup> B64G 1/62. Спосіб усунення модульних великогабаритних космічних об'єктів з навколоземних орбіт/ А.П. Алпатов, О.С. Палій, О.Д. Скорік; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. - а201309842; заявл. 08.08.2013; опубл. 25.02.2015, Бюл. № 4.

9. Патент № 109194 Україна, МПК<sup>7</sup> B64G 1/62. Аеродинамічна система усунення космічних об'єктів з навколоземних орбіт/ А.П. Алпатов, О.С. Палій, О.Д. Скорік та ін.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. - а201312759; заявл. 01.11.2013; опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

10. Патент № 109318 Україна, МПК<sup>7</sup> B64G 1/62. Спосіб усунення космічних об'єктів з навколоземних орбіт та система для його здійснення/ А.П. Алпатов, О.С. Палій, О.Д. Скорік та ін.; заявник і патентовласник Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ. - а201313261; заявл. 14.11.13; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

11. Бомбарделли К., Алпатов А.П., Пироженко А.В., Баранов Е.Ю., Осинский Г.Г., Закржевский А.Е. Проект "космического пастуха" с ионным лучом. Идеи и задачи// Космічна наука і технологія. - 2014. - Т. 20, № 2. - С. 55-60.

12. Алпатов А.П., Закржевский А.Е., Фоков А.А., Хорошилов С.В. Определение оптимального положения "пастуха с ионным лучом" относительно объекта космического мусора// Техн. механика. - 2015. - № 2. - С. 37-48.

13. Техногенное засорение околоземного космического пространства/ Алпатов А.П., Басе В.П., Баулин С.А., Бразинский В.И., Гусынин В.П., Даниев Ю.Ф., Засуха С.А. - Днепропетровск: Пороги, 2012.

14. Савчук А.П., Фоков А.А., Хорошилов С.В. Расчет бесконтактного воздействия на объект космического мусора по его известному контуру// Техн. механика. - 2016. - № 1. - С. 26-37.

15. Головкин М.Г. Технические аспекты борьбы с космическим мусором/ М.Г. Головкин, В.А. Безуглый, С.Г. Бондаренко, Ю.А. Рубаха, Р.О. Покровский// Екологія та ноосферологія. - 2012. - Т. 23, № 1-2. - С. 110-120.

16. Дронь Н.М. Оценка характеристик космических мусоросборщиков с ЭРД при двух вариантах маневров их выведения на орбиту/ Н.М. Дронь, Л.Г. Дубовик, А.И. Кондратьев, А.В. Хитко, П.Г. Хорольский// Космічна наука і технологія. - 2010. - Т. 16, № 5. - С. 59-61.

17. Палий А.С. Анализ возможности использования аэродинамических систем для увода модульных крупногабаритных космических объектов с низких околоземных орбит/ А.С. Палий, А.Д. Скорик// Техническая механика. - 2014. - № 2. - С. 43-51.

Описані в наведених вище джерелах інформації способи та системи для усунення космічних об'єктів з навколоземних орбіт є аналогами способу, що заявляється.

Всі наведені аналоги мають різні недоліки, зокрема, значну вагу та витрати бортової енергії КАС на усунення ОКС з орбіти, складність реалізації системи дій на об'єкти космічного сміття, складну динаміку усунення ОКС з орбіти та ін.

Вперше у світовій практиці використання сил аеродинамічної дії в орбітальному польоті КА для його пасивної аеродинамічної стабілізації було втілено та відпрацьовано на супутнику ДС-МО "Космическая стрела" [Адамчик Л.В. Спутник "Космическая стрела" и его конструктивные особенности/ Л.В. Адамчик, Н.А. Жариков, И.М. Поллуксов, В.И. Талан, В.А. Шабохин// Космическая стрела: Оптические исследования атмосферы: сб. статей/ Академия наук СССР, Институт физики атмосферы. -М.: Наука, 1974. - С. 13-18.], [Rawashdeh S. et al. Aerodynamic Stability for CubeSats at ISS Orbit// JoSS, 2013. - Vol. 2, № 1. - P. 85-104.].

Найбільш близьким по технічній суті до способу, який заявляється, є технічне рішення "космічний пастух" з іонним променем, описане в [Bombardelli C. Ion beam shepherd for contactless space debris removal/ C. Bombardelli, J. Pelaez// Journal of guidance, control and dynamics, 2011. - Vol. 34, № 3. - P. 916-920.], [Патент № WO 2011/110701 A1 Іспанія, МПК<sup>7</sup> B64G 1/24. System for adjusting the position and attitude of orbiting bodies using guide satellites/ C. Bombardelli, J. Pelaez. - PCT/ES2011/000011; заявл. 11.03.2010; опубл. 15.09.2011.].

Основний принцип дії прототипу "космічний пастух" з іонним променем полягає у використанні потоку іонів як засобу передачі силового імпульсу. Потік іонів створюється реактивним двигуном (РД), що встановлений на борту КАС - "космічний пастух". Потік іонів з іонного двигуна КАС - "космічний пастух" спрямовано на об'єкт космічного сміття. Іони, які досягли поверхні об'єкта космічного сміття, проникають в його матеріал і повністю передають йому свій імпульс. Для компенсації сили реакції на КАС - "космічний пастух" передбачається встановити додатковий електричний РД, сила тяги якого направлена протилежно силі тяги двигуна - джерела потоку іонів.

Система видалення космічного сміття "космічний пастух" з іонним променем включає ракету-носію з розгінним блоком та КАС. КАС - "космічний пастух" має у своєму складі герметичний корпус, систему орієнтації та стабілізації, орбітальну двигунну установку, систему та двигунні установки орбітального зближення з космічним об'єктом, який видаляється, системи енергоживлення і терморегулювання та бортові службові радіосистеми. На КАС -«космічний пастух» передбачається наявність двох РД з протилежно направленою тягою. Основний іонний РД спрямовує потік іонів у бік ОКС, який видаляється, а додатковий електричний РД встановлено для забезпечення нейтралізації впливу тяги основного РД на рух КАС.

Технічне рішення по прототипу "космічний пастух" з іонним променем достатньо ефективно та має такі переваги [Бомбарделли К., Алпатов А.П., Пироженко А.В., Баранов Е.Ю., Осинский Г.Г., Закржевский А.Е. Проект "космического пастуха" с ионным лучом. Идеи и задачи// Космічна наука і технологія. - 2014. - Т. 20, № 2. - С. 55-60.]:

– ефективність виведення космічного сміття. Передбачається, що маса КАС-"космічний пастух" з паливом не перебільшуватиме 10 % від маси об'єктів космічного сміття, які видаляються;

– низький рівень ризику, пов'язаний з відсутністю прямого контакту з ОКС, який видаляється.  
5 Номінальна відстань між КАС-"космічний пастух" й ОКС за попередніми оцінками складатиме 10-20 м;

– імпульс, який передає потік іонного променя, не залежить від форми ОКС і його особистого руху. Ця перевага дуже вагома, тому що механічні контакти з ОКС, який не стабілізований (що обертається) є проблематичними;

10 – можливість повторного використання. Завдяки високим питомим імпульсам, які характерні для іонних двигунів, витрати палива різко зменшуються, й тому можливі декілька операцій по виведенню ОКС за допомогою одного КАС-"космічного пастуха";

– маневреність. КАС-"космічний пастух" має високу ефективність усіх видів орбітальних маневрів на основі використання іонних двигунів для зміни таких параметрів орбіти, як висота, 15 нахил, проведення операції зближення, запобігання зіткненням;

– технологічна готовність. Ключові елементи технології, яка розглядається, вже пройшли іспити в космосі. Це належить до радіочастотних іонних двигунів та датчиків відносної навігації. Сама конструкція "космічного пастуха" звичайна для КА.

Однак, прототипу "космічний пастух" притаманні недоліки, пов'язані з вибором схеми роботи 20 двигуна - джерела потоку іонів, яка потребує обов'язкової компенсації сили тяги, що приводить до нераціональних витрат палива на її створення.

Зазначені недоліки прототипу усунено в способі, який заявляють автори.

Технологія видалення космічного сміття з застосуванням способу, який заявляється, передбачає направлене зміщення ОКС з орбіти за рахунок безконтактного впливу на нього 25 іонного потоку. Потік створюється іонним РД, встановленим на борту КАС, який знаходиться в безпосередній близькості від ОКС.

Спосіб видалення об'єктів космічного сміття, яку заявляють автори, передбачає, як і прототип, виведення КАС на орбіту ОКС, виконання за допомогою двигунної установки КАС орбітального маневру по зближенню з ОКС, подальше коригування орбіти КАС до забезпечення 30 мінімальної орбітальної відстані між цими космічними об'єктами та забезпечення за допомогою системи орієнтації та стабілізації і двигунних установок орбітального зближення КАС до співпадіння орбіт КАС і ОКС, в тому числі - нахилу орбіт, напрямів та величин орбітальної швидкості. Після формування єдиної орбіти та максимального зближення КАС і ОКС виконується направлене зміщення об'єкта космічного сміття з орбіти за рахунок безконтактного 35 впливу на нього іонного потоку.

Спосіб, що заявляється, відрізняється тим, що на КАС замість додаткового РД встановлено аеродинамічний компенсатор сили тяги двигуна - джерела іонного потоку, який створює і 40 направляє потік іонів на ОКС, який видаляється.

Принцип дії способу безконтактного видалення ОКС, що заявляється, базується на збільшенні завдяки аеродинамічному компенсатору площі перерізу КАС на орбіті, що 45 призводить до збільшення сили його аеродинамічного опору, яка компенсує силу тяги двигуна - джерела іонів.

Завдяки аеродинамічному компенсатору можна при взаємодії КАС з ОКС забезпечувати підтримку між ними необхідної дистанції за рахунок збільшення аеродинамічного опору, що 45 забезпечує компенсацію впливу тяги іонного РД, який спрямовує потік іонів у бік ОКС, який видаляється.

Реалізація способу, який заявляється, пояснюється кресленнями, де показано: на Фіг. 1 - схематичне зображення системи-прототипу "космічний пастух" з іонним променем, на Фіг. 2 - схематичне зображення системи, для здійснення способу, який заявляють автори.

50 На Фіг. 1 показано: 1 - загальний вигляд КАС-прототипу "космічний пастух" з іонним променем 5; 2- основний РД, який спрямовує потік іонів 5 у бік ОКС 4; 3 - додатковий РД для забезпечення нейтралізації впливу тяги основного РД 2; 4- об'єкт космічного сміття, який видаляється; 5 - іонний промінь, спрямований у бік ОКС 4;  $F_1$  - сила, з якою основний РД 2 діє на КАС-"космічний пастух" 1;  $F_2$  - сила опору додаткового РД 3, що забезпечує нейтралізацію 55 впливу сили тяги основного РД 2.

На Фіг. 2 показано: 1 - загальний вигляд заявленого КАС; 2 - іонний РД, який спрямовує потік іонів 5 у бік ОКС 4; 3 - аеродинамічний компенсатор сили тяги іонного РД, який спрямовує потік іонів у бік ОКС; 4 - об'єкт космічного сміття, який видаляється; 5 - іонний промінь, спрямований у бік ОКС 4;  $F_1$  - сила, з якою іонний РД 2 діє на КАС 1;  $F_2$ - сила опору аеродинамічного 60 компенсатора 3, що забезпечує нейтралізацію впливу сили тяги іонного РД 2.

На Фіг. 1 і Фіг. 2 показано:  $F_t$  - сила, яка діє на ОКС 4 за рахунок імпульсу, який несуть іони променя 5, направлено на ОКС 4. Сила  $F_t$  дорівнює за модулем й протилежно спрямована силі  $F_1$ , якщо знехтувати імпульсом, пов'язаним з іонами, які розпилює поверхня ОКС 4, та вважати, що іонний промінь 5 повністю спрямований на ОКС 4 [Бомбарделли К., Алпатов А.П., Пирожено А.В., Баранов Е.Ю., Осинский Г.Г., Закржевский А.Е. Проект "космического пастуха" с ионным лучом. Идеи и задачи// Космічна наука і технологія. - 2014. - Т. 20, № 2. - С. 55-60.].

Авторами винаходу, що заявляється, проведено оцінку ефективності застосування розробленого способу безконтактного видалення об'єктів космічного сміття з аеродинамічним компенсатором за допомогою порівняльного аналізу з системою-прототипом. Для аналізу авторами було проведено розрахунок маси КАС й кількості необхідного палива для системи, для здійснення способу, що заявляється, й порівняно її з аналогічними параметрами системи-прототипу. Основний принцип при використанні способу, що заявляється, для компенсації сили тяги іонного РД не потребує застосування додатково РД, як для системи-прототипу "космічний пастух", тобто замість додаткового РД використовується аеродинамічний компенсатор.

Було проведено оцінку параметрів аеродинамічного компенсатора і їх порівняння з характеристиками апарата-прототипу "космічний пастух".

Параметри аеродинамічного компенсатора визначено із співвідношень:

площа аеродинамічного компенсатора,  $S_{ак}$  [Басс В.П. Молекулярная газовая динамика и ее приложения в ракетно-космической технике. -К.: Наукова думка, 2008.]:

$$S_{ак} = F_{тяги} \cdot \frac{2}{c_x \cdot \rho \cdot V^2},$$

де  $F_{тяги}$  - сила тяги двигуна,

$c_x$  - коефіцієнт аеродинамічного опору,

$\rho$  - щільність атмосфери на висоті відповідно орбіті,

$V$  - кругова швидкість космічного апарата на відповідній орбіті;

діаметр аеродинамічного компенсатора,  $D_{ак}$ :

$$D_{ак} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_{ак}};$$

маса аеродинамічного компенсатора,  $m_{ак}$ :

$$m_{ак} = m_{пл} + m_{мр},$$

де  $m_{пл}$  - маса плівки аеродинамічного компенсатора,

$m_{мр}$  - маса механізму розгортання компенсатора.

Для того, щоб встановити характеристики аеродинамічного компенсатора, визначено:

кругову швидкість космічного апарата  $V = 7,73 \cdot 10^3 \frac{м}{с}$  на висоті кругової орбіти 300 км

[Линник А.К. Вступ до ракетної техніки та космонавтики -Д.: ДНУ, 2010.];

коефіцієнт аеродинамічного опору  $c_x = 2,2$  й щільність атмосфери  $\rho = 1,255 \cdot 10^{-11} \frac{кг}{м^3}$  на

висоті 300 км [Ковтуненко В.М., Камеко В.Ф., Яскевич Э.П. Аэродинамика орбитальных космических аппаратов. -К.: Наукова думка, 1977.];

силу тяги двигуна  $F_{тяги} = 10$  мН [Савчук А.П., Фоков А.А., Хорошилов С.В. Расчет бесконтактного воздействия на объект космического мусора по его известному контуру// Техн. механика. - 2016. - № 1. - С. 26-37.].

Розрахунки показали, що площа аеродинамічного компенсатора становить  $S_{ак} = 12,12$  м<sup>2</sup>, а відповідно, діаметр  $D_{ак} = 3,93$  м  $\approx 4$  м, що є прийнятним значенням для використання аеродинамічного компенсатора на борту КАС.

При виготовленні аеродинамічного компенсатора з застосуванням плівки з полііміду отримано наступні характеристики для розрахунку маси плівки аеродинамічного компенсатора за формулою:

$$m_{пл} = S_{ак} \cdot \delta \cdot \rho_{полиимид},$$

де  $\delta$  - товщина плівки,  $\delta = 5 \cdot 10^{-5}$  м,

$\rho_{\text{поліімід}}$  - щільність поліімиду,  $\rho_{\text{поліімід}} = 1420 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

[Шихирин В.Н. Эластичные механизмы и конструкции/ В.Н. Шахирин, В.Ф. Ионов, О.В. Шальнев, В.И. Котляренко - Иркутск: ИГТУ, 2006.].

5 Отримано наступне значення маси плівки аеродинамічного компенсатора:  $m_{\text{пл}} = 0,86$  кг.

За аналогією з параметрами сучасних космічних апаратів з плоским сонячним парусом, що використовується як аеродинамічний, [Lappas V. et al. CubeSail: A low cost CubeSail based solar sail demonstration mission// Adv. Sp. Res. 2011. Vol. 48, No. 11 P. 1890-1901.] масу механізму розгортання компенсатора прийнято за 1,1 кг (з урахуванням маси каркаса та штанг):  $m_{\text{мр}} = 1,1$

10 кг.

Отримано загальне наступне значення маси аеродинамічного компенсатора, який пропонують автори:  $m_{\text{ак}} = 1,96 \text{ кг} \approx 2 \text{ кг}$ .

Масу електричного РД з паливом для КАС-прототипу визначено із співвідношень [Герасюта Н.Ф., Новиков А.В., Белецкая Н.Г. Динамика полета. Основные задачи динамического проектирования ракет. - Днепропетровск, 1998.]:

$$m = m_{\text{д}} + m_{\text{п}},$$

де  $m$  - маса електричного РД з паливом,

$m_{\text{д}}$  - маса електричного РД,

$m_{\text{п}}$  - маса палива:

$$20 \quad m_{\text{п}} = \dot{m} \cdot t,$$

де  $\dot{m}$  - секундна витрата маси палива двигуна,

$t$  - тривалість виведення з орбіти ОКС.

Отримано наступні характеристики для розрахунку маси додаткового РД з паливом, який встановлено на КАС-"космічний пастух":

25 маса палива  $m_{\text{п}} = 6,48$  кг для забезпечення тривалості виведення з орбіти ОКС  $t = 150$

днів  $= 12960000$  с при секундній витраті палива  $\dot{m} = 0,5 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$  [Bombardelli C. Ariadna call for ideas:

Active removal of space debris ion beam shepherd for contactless debris removal/ C. Bombardelli, M. Merino, E. Ahedo, J. Pelaez, H. Urrutxua, A. Tturi-Torreay, J. Herrera Montojoy// Technical report. - 2011.];

30 маса електричного РД  $m = 1,5$  кг за аналогією з СПД-70 [Кушниренко С.И., Шевцов В.Е.

Анализ возможности использования различных типов двигательных установок для борьбы с засорением космического пространства// Авиационно-космическая техника и технология. - 2013. - № 9. - С. 38-42.].

35 Таким чином, розрахунки показали, що маса додаткового електричного РД з паливом, який встановлено на КАС-"космічний пастух" для компенсації сили тяги двигуна-джерела іонного потоку, становить близько 8 кг.

Отже, розрахунки та порівняльний аналіз з системою-прототипом показали, що маса аеродинамічного компенсатора системи, для здійснення способу, який заявляється, становить близько 2 кг, а маса додаткового РД з паливом системи-прототипу "космічний пастух" - близько 8 кг. Отже, маса аеродинамічного компенсатора складає біля 25 % від маси РД з паливом, а економія енергоспоживання (маси палива) при застосуванні аеродинамічного компенсатора замість додаткового РД за попередніми розрахунками може досягати до 75 %.

45 Таким чином, при використанні способу, яку заявляють автори, застосування аеродинамічного компенсатора дозволяє забезпечити нейтралізацію впливу сили тяги двигуна-джерела іонного потоку, який створює і направляє потік іонів на ОКС, за рахунок збільшення поперечного перерізу КАС після розгортання аеродинамічного компенсатора, а отже збільшення аеродинамічного опору. Заявлений спосіб безконтактного видалення об'єктів космічного сміття з навколоземних орбіт з аеродинамічним компенсатором достатньо ефективно забезпечить видалення космічного сміття, а також дозволить зменшити масу

50 космічного апарата-сміття та витрати бортової енергії на видалення ОКС з НЗО.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб безконтактного видалення об'єктів космічного сміття з навколоземних орбіт з аеродинамічним компенсатором, в якому використовують космічний апарат-сміттяр шляхом його виведення на орбіту об'єкта космічного сміття, який видаляється, виконують за допомогою двигунної установки космічного апарата-сміттяра орбітальний маневр по зближенню з об'єктом космічного сміття, забезпечують з використанням системи орієнтації та стабілізації і двигунних установок орбітального зближення космічного апарата-сміттяра співпадіння орбіт об'єкта космічного сміття і космічного апарата-сміттяра, в тому числі нахилу орбіт, напрямів та величин орбітальної швидкості, а після формування єдиної орбіти та безпечного зближення космічного апарата-сміттяра і об'єкта космічного сміття, який видаляється, виконують направлене зміщення об'єкта космічного сміття з орбіти за рахунок безконтактного впливу на нього іонним потоком, який створюють іонним реактивним двигуном, встановленим на борту космічного апарата-сміттяра, який **відрізняється** тим, що на борту космічного апарата-сміттяра встановлюють аеродинамічний компенсатор сили тяги іонного реактивного двигуна.

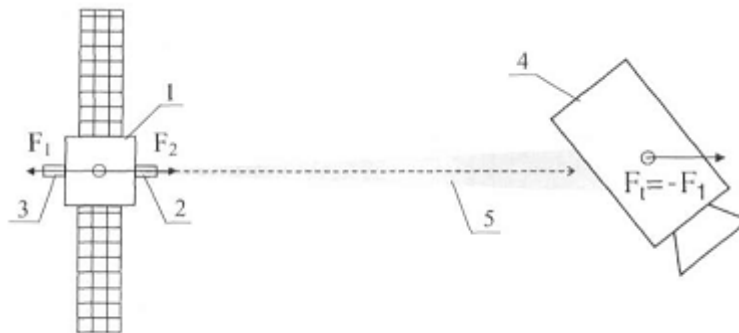


Fig. 1

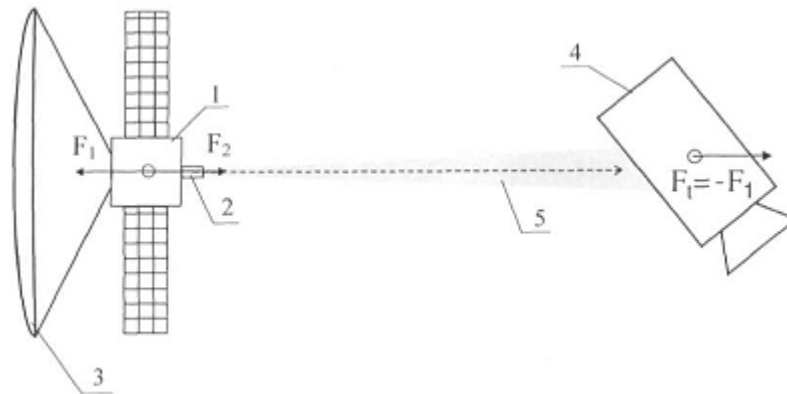


Fig. 2

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601