

## Розділ 3. Керування

УДК 628.8

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380412201556124>О. С. Журавель<sup>22</sup>, студент, М. М. Дронь<sup>23</sup>

### ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ РАКЕТ-НОСІЇВ ДЛЯ ВИВЕДЕННЯ ЗАСОБІВ ВІДВОДУ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З НАВКОЛОЗЕМНИХ ОРБИТ

**En**

The main sources of space debris in space orbit, ways and means to minimize the near-Earth space pollution. It is shown that the main ways to combat space Muso-set is to prevent the emergence of a new and deleting already-established th. Define methods and means of O spacecraft from working orbits of the expiration of the term of active existence, the known methods and B tem of active removal of space debris larger. As wasps basic principles remove large objects from near-Earth space, is considered to manage their erection in the dense layers of the at-mosphere through the use of a special spacecraft - cosmic-ray clean sweep, which includes the propulsion system. You are a full assessment of the capabilities of carrier rockets, which can be applied to us, the withdrawal of these garbage trucks into the desired orbit.

**Ru**

Рассмотрены основные источники образования космического мусора на космических орбитах, пути и методы минимизации загрязнения околоземного пространства. Показано, что основными путями борьбы с космическим мусором является предотвращение появления нового и удаления уже существующего. Определены методы и средства вывода космических аппаратов с рабочих орбит за истечением срока активного существования, известные способы и системы активного удаления крупных фрагментов космического мусора. Как основной принцип удаления крупных объектов из околоземного космического пространства, рассматривается управляемое их возведения в плотные слои атмосферы путем использования специального космического аппарата - космического мусоросборщика, в состав которого входит двигательная установка. Выполнена оценка возможностей ракет-носителей, которые могут быть применены для вывода этих мусоросборщиков на заданные орбиты.

#### Вступ

З початком ери освоєння космосу (запуск першого штучного супутника Землі в 1957 році) у навколоземному космічному просторі (НКП) з'явилася і стала стрімко зростати популяція техногенних космічних об'єктів (КО), більшу частку якої становить так зване космічне сміття (КС). Це покинуті супутники, згорілі ракетні двигуни, загублені інструменти, кришки та ковпачки, всілякі кріпильні елементи: замки, скоби, болти, які вивільняються, наприклад, при відділенні ракетних ступенів, шлаки, викинуті з

<sup>22</sup> Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, фізико-технічний факультет

<sup>23</sup> Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

твердопаливних двигунів, і, насамперед, безліч уламків, що залишилися після вибуху великих об'єктів. Вони є небезпечним фактором впливу на функціонуючі космічні апарати (КА), особливо пілотовані. У деяких випадках, наприклад, при неконтрольованому сходженні з орбіти, неповному згоранні при проходженні щільних шарів атмосфери Землі і випаданні уламків на населені пункти, промислові об'єкти, транспортні комунікації та ін. великі об'єкти КС або ті, що містять на борту небезпечні (ядерні, токсичні) матеріали, можуть являти пряму небезпеку і для Землі [1].

Взагалі, і до цього часу НКП не був порожнім. Кожного року близько  $(40000 \pm 20000)$  т метеоритів входить до атмосфери Землі, але метеорити, астероїди та інші космічні тіла, що обертаються по орбітах навколо Сонця, якщо і потрапляють в НКП, то швидко й одноразово його пронизують, або покидаючи, або згораючи в атмосфері, і лише деякі дуже рідко досягають поверхні Землі. На відміну від них, техногенні КО, будучи виведені на орбіти, зазвичай надовго залишаються в НКП, а по завершенні своєї функціональної місії стають (а точніше, продовжують залишатися) постійною загрозою зіткнення з іншими космічними об'єктами.

Тривалість перебування техногенного космічного сміття в НКП залежить, насамперед, від висоти орбіти відповідних КО: на висоті 200 км час існування некерованого супутника становить декілька днів, на орбіті висотою 600 км – 25-30 років, на висотах близько 1000 км – 2000 років, а вище 2000 км – 20000 років і більше.

Найбільш засмічені ті області орбіт навколо Землі, які найчастіше використовуються для роботи космічних апаратів. Це низькі навколосемні орбіти (ННО), на яких розташовані МКС, супутники дистанційного зондування Землі та розвідувальні апарати, а також мережі («сузір'я») з безліччю телекомунікаційних супутників (наприклад, супутникова телефонна система *Iridium*, що використовує більше 70 апаратів), геостационарна орбіта (ГСО) – найвіддаленіша від Землі орбіта, насичена супутниками зв'язку і сонячно-синхронні орбіти (ССО), де постійні умови освітлення дуже добре підходять для супутників, які отримують зображення земної поверхні (у тому числі для супутників дистанційного зондування Землі, метеосупутників).

Темпи зростання відносного числа КО на геостационарній орбіті значно вищі, ніж на низьких орбітах: щорічно заселеність ГСО зростає в середньому на 35-40 каталогізованих КО, що становить близько 4 % від загального числа і сьогодні перевищує 900, при цьому 300 з них є активними.

На низькій орбіті зараз найбільш небезпечним космічним об'єктом є несправний супутник *ENVISAT* [2]. Зв'язок з ним було втрачено в квітні 2012 р. 26-метровий супутник масою понад 8 т продовжує залишатися на орбіті, де інші КО наближаються до нього кожен рік на відстані, що іноді становлять менше 200 метрів. Зіткнення з цим супутником може викликати ланцюжок руйнівних зіткнень інших орбітальних уламків між со-

бою. Очікується, що *ENVISAT* буде залишатися на орбіті протягом приблизно 150 років, після закінчення яких він повернеться назад до атмосфери Землі і благополучно згорить у ній.

Вирішувати проблему засміченості НКП можна відразу в різних напрямках, особливо, якщо для цього є конструктивні підстави.

Найперше завдання за логікою речей – це розширення можливостей всіх інструментів і методів моніторингу в інтересах спостереження, в першу чергу, більш дрібних фракцій космічного сміття. Великі КО виявляють і спостерігають на задовільному рівні, хоча багато існуючих засобів спостереження сильно застаріли.

Доцільним є створення і ведення єдиного динамічного каталогу КО всіх розмірів, накопичення вимірювальної уніфікованої бази даних і відповідного архіву спостережень. Також обов'язковим є проведення кампаній спостереження КС, що супроводжується ретельним архівуванням даних вимірювань, отриманих у всіх попередніх кампаніях. При цьому цінність архіву пропорційна тривалості охоплюваного ним часового періоду. Чим він довший, тим більше аналіз відповідної інформації може відкрити закономірностей в динаміці загальної популяції КС та його окремих категорій, і тим достовірнішими будуть результати аналізу.

Щоб контролювати подальше засмічення космосу, в першу чергу, необхідно зосередити зусилля на скороченні джерел породження нового КС. Без цього доведеться вживати заходів щодо зниження небезпеки удару більш потужним бронюванням КА, ускладненням (і, природно, подорожчанням) різних видів захисту.

### **Постановка задачі**

Метою даної статті є визначення основних джерел утворення космічного сміття, аналіз шляхів і методів мінімізації забруднення навколоземного простору та оцінка можливостей їх практичної реалізації.

### **Джерела забруднення космосу**

Допоки концентрація КС не була критичною, основним джерелом його утворення були невідведені ракети-носії (РН) та КА після завершення їх активної експлуатації. Коли ж концентрація КС почала досягати критичних значень, основним фактором його зростання стало руйнування космічних об'єктів. Насамперед, це навмисні чи мимовільні вибухи КА і РН, зіткнення КО та деградація їх поверхні під впливом агресивного космічного середовища (радіація всіх видів, перепади температур, космічний пил, окислення атомарним киснем, пошкодження дрібним КС і метеороїдами тощо).

Більшість мимовільних руйнувань відбувається через нештатні процеси в паливних системах РН і КА, акумуляторних батареях, балонів із стисненим газом, інших бортових приладах, як правило, після завершення їх програмного функціонування.

Навмисні підриви із Землі проводилися більше 30 років тому з метою відпрацювання балістичної протисупутникової зброї в СРСР і США. Кожен підрив призводить до утворення хмари орбітальних уламків ураженої цілі в космосі. Пізніше ООН регламентувала цю діяльність, але в січні 2007 р. був здійснений підрив китайського метеорологічного супутника «Fengyun 1С» (маса – близько 960 кг, орбіта – сонячно-синхронна висотою близько 850 км з кутом нахилу  $98,8^\circ$ ), в результаті чого на навколоземних орбітах утворилася найнебезпечніша з початку космічної ери хмара. Служба контролю космічного простору США ідентифікувала 2347 уламків розміром більше 10 см, на середину вересня 2010 р. їх вже було 3037, а на кінець січня 2013 р. – 3378. Усі ці фрагменти знаходяться на орбітах тривалого існування вище 800 км, тож більшість з них навіки залишиться в навколоземному просторі [2].

У навколоземному космічному просторі з початку космічної ери до сьогодення мали місце в загальній складності 189 вибухів. Розриви дають до 80 % усіх об'єктів КС розміром більше 5 см. Щороку відбувається в середньому 4 такі вибухи.

Проте, з погляду безпеки, для космічного середовища більш небезпечними за вибухи є зіткнення. Середня відносна швидкість зіткнень в космосі становить 10 км/с, але буває і більше. Ці швидкості відносяться до категорії надзвукових, їх особливістю є утворення величезної кількості дрібного КС, набагато більшого ніж при вибуху.

Під час роботи твердопаливного реактивного двигуна створюються й викидаються із сопла з великою відносною швидкістю (до 4 км/с) дрібні частинки продуктів горіння, наприклад, оксиду алюмінію. За даними досліджень NASA ці частинки складають близько 0,65 % від вихідної паливної маси, їх розміри зазвичай не перевищують 10 мкм, проте кількість може досягати  $10^{20}$  і вони являють цілком визначену небезпеку для КА.

До підвищення засміченості космосу призвело зіткнення американського супутника зв'язку «Iridium-33» і нефункціонуючого російського супутника зв'язку «Космос-2251», що сталося 10 лютого 2009 року над районом крайньої півночі Сибіру на висоті 790 км при відносній швидкості 11,646 км/с з утворенням великої кількості уламків. Кут нахилу орбіт супутників становив  $86,4^\circ$  та  $74^\circ$  відповідно. Площини орбіт в момент зіткнення перетиналися майже під прямим кутом.

У січні 2013 р. системою контролю космічного простору (СККП) США був зареєстрований 2201 фрагмент обох апаратів. При цьому фрагменти супутників розлетілися на висоти від 500 до 1300 км. Після зіткнення даних об'єктів об'єм каталогу КО СККП США збільшився на 15,6 %

### Розділ 3. Керування

(2347 КО), а кількість некаталогізованих, але супроводжуваних засобами спостереження, зросла на 6000 КО.

Сумарна кількість дрібних фрагментів (розміром близько 1 см) від супутників «*Fengyun 1C*», «*Iridium-33*» і «Космос-2251» за даними радіолокаторів *Haystack* (Хейстек) і *НАХ* (Хекс) становить понад 250000, а великих (більше 10 см) – понад 5500. Тільки в результаті цих двох катастрофічних подій об'єм каталогу КО стрибком збільшився на 60 % [1].

Для коротко – та довгострокового прогнозу забруднення навколоземного простору сьогодні створена низка математичних моделей, які характеризують КС. Найбільше застосування мають:

- *ORDEM* 96, 2000, 2008 – інженерні моделі, які використовуються *NASA* для оцінки імовірності зіткнення КА з КС розмірами від 10 мкм до 10 см, визначення концентрації КС на різних орбітах та її прогнозу на майбутнє [3];
- *MASTER* 99, 2001, 2008 – інженерні моделі, які використовуються *ESA* для оцінки імовірності зіткнення КА з КС і метеороїдами [4];
- *EVOLVE* – модель еволюції руху КС, яка використовується *NASA* [5, 6];
- *LEGEND* – модель еволюції руху КС, у тому числі на ГСО, яка використовується *NASA* [7];
- модель *SPDA*, що розроблена Центром Програмних Досліджень Російського космічного агентства [8]. Ця інженерна модель призначена для швидкого, зручного і візуального представлення характеристик космічного сміття. Вона дозволяє розраховувати просторову щільність, розподіл швидкостей і потоки часток з врахуванням джерел забруднення і гальмування в атмосфері. Ці характеристики визначають для частинок розміром більше 1 мм в області низьких та геостаціонарних орбіт.

Як правило, результати довгострокових прогнозів забруднення для різних моделей не узгоджуються, зважаючи на відмінності в припущеннях і початкових умовах, а також через те, що розробники моделей часто працювали з інформацією, до якої обмежений доступ, або яка отримана з різних джерел спостережень і відрізняється за якістю та об'ємом.

Наприклад, на рис. 1 представлені залежності просторової щільності (концентрації) КС від висоти орбіти КА, отримані з використанням моделей *MASTER* та *SPDA*. Тут заштрихована область відображає граничні значення, отримані з використанням даних моделей [8].

### Шляхи й методи мінімізації забруднення навколоземного простору

На основі аналізу й узагальнення новітніх результатів досліджень зі зниження забруднення НКП можна виділити два шляхи боротьби з космічним сміттям:

- запобігання засмічення навколоземного космосу новим КС;
- активне видалення з навколоземних орбіт фрагментів уже існуючого космічного сміття.

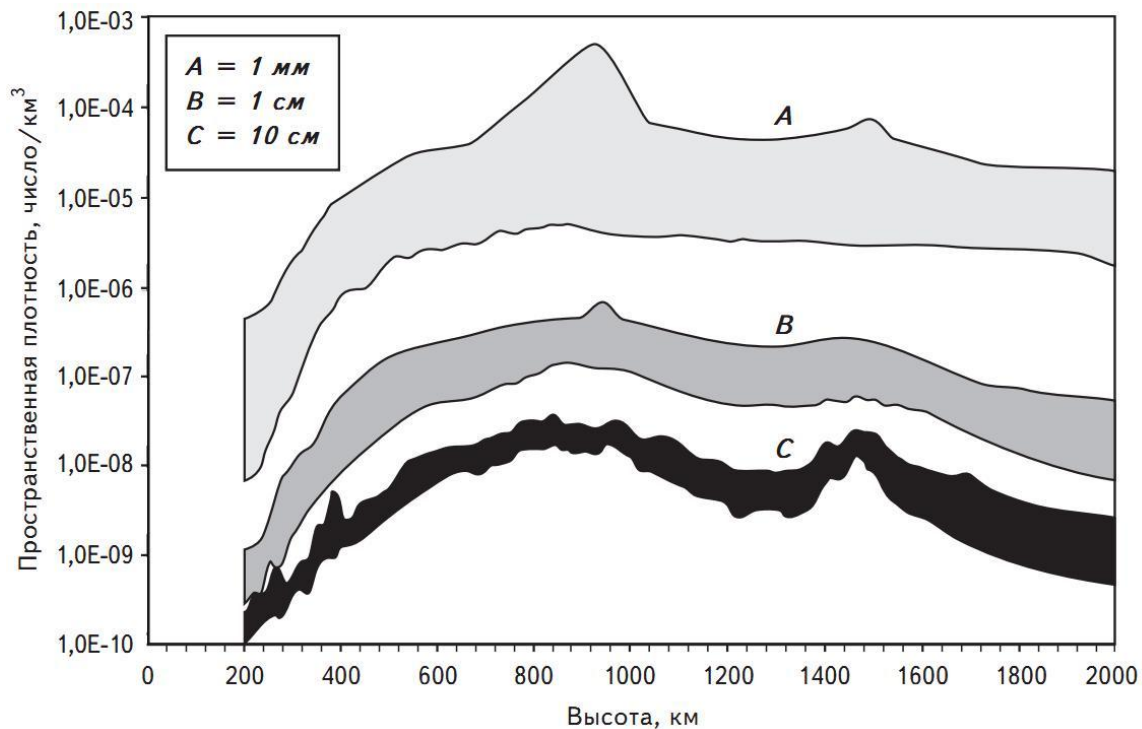


Рис. 1. Розподіл щільності КС від висоти орбіти КА:

*A* – КС розміром  $\sim 1$  мм; *B* – КС розміром  $\sim 1$  см; *C* – КС розміром  $\sim 10$  см

Запобігання появі нового космічного сміття полягає в проведенні наступних заходів:

- інформування про небезпеку, пов'язану із забрудненням космічного простору, моніторинг НКП;
- контроль за матеріалами, технологією виробництва й запуску КА.
- застосування автоматичної системи ремонту й обслуговування супутників на орбіті;
- пасивація останніх ступенів РН, розгінних блоків (РБ) і КА, яка полягає в стравлюванні компонентів палива й газу наддування;
- консервація хімічних джерел струму;

- деактивація піротехнічних пристроїв. Даний захід дозволяє звести до мінімуму вірогідність вибуху, який може призвести до створення великої кількості дрібного КС;
- обмеження кількості операційних елементів (заглушок, піротехнічних пристроїв та ін.), що відокремлюються від останніх ступенів РН у процесі їх штатної роботи;
- обмеження терміну балістичного існування останніх ступенів РН, РБ і КА до 25 років. Даний захід здійснюється шляхом вибору орбіти або розміщенням на борту засобів уведення з цільової орбіти;
- відведення останніх ступенів РН, РБ і КА на орбіти захоронення. Для низькоорбітальних об'єктів орбіта захоронення знаходиться вище 2000 км, для КО на ГСО – вище на 300 км;
- виключення зіткнення великогабаритних об'єктів між собою. Реалізація здійснюється шляхом вибору цільової орбіти або шляхом маневрування засобами функціонуючих об'єктів.

Для видалення фрагментів уже існуючого КС розробляються різні засоби відводу КА після закінчення строку їх активного існування, які можуть бути активними, пасивними або комбінованими. Залежно від обраного варіанта космічні апарати повинні оснащуватися додатковим обладнанням, призначеним для відводу КА з орбіти.

Активні засоби вимагають наявності на борту КА необхідної енергії і робочого тіла. У цьому випадку відвід може бути здійснений за допомогою різних типів двигунних установок (хімічних, електричних).

Існує два активних засоби уведення космічних апаратів з орбіти: керований (відведення космічної станції МИР, який складався з трьох послідовних маневрів) і некерований. Прикладом останнього може служити відведення КА *SPOT-1*, який функціонував на близько коловій орбіті на висоті 822 км з нахилом 98°. Спочатку КА був переведений на орбіту висотою 808 км за допомогою двох включень реактивного двигуна. Потім, після декількох маневрів, апарат був переведений на орбіту висотою 580 км, на якій термін його існування склав 16,5 років [1].

Серед найбільш поширених пасивних систем відводу КА з робочих орбіт можна виділити дві групи:

- вітрильні пристрої (аеродинамічні вітрильні пристрої і сонячні вітрильні пристрої);
- електродинамічні тросові системи.

Аеродинамічні вітрильні пристрої відводу базуються на збільшенні площі перетину КА, поперечного до напрямку потоку, що призводить до збільшення сили аеродинамічного опору. Пристрої відводу можуть бути виконані у формі кулі, тора, циліндра, піраміди й ін., а також у формі диска, парасольки, парашута, квадрата, комбінації різних надувних форм.

Принцип дії електродинамічної тросової системи полягає в тому, що по закінченні терміну активного існування КА, з його борту вистрелюється кінцеве тіло, до якого прикріплений трос або стрічка. Під дією струму, який протікає в тросі виникає сила Ампера, спрямована проти руху системи «КА-трос», що і зумовлює електродинамічне гальмування за рахунок різниці потенціалів магнітного поля Землі. Перевагою цих систем є невелика вага і простота використання, а до недоліків слід віднести проблематичність розгортання троса [8].

### **Активні системи відводу великих КО**

Видалення з орбіт великих космічних об'єктів вимагає високовитратного створення спеціальної космічної транспортної техніки при порівняно малій значущості зниження ризику зіткнень у результаті такої операції. Оптимістична оцінка вартості реалізації такого підходу становить близько 15 млн дол. на кожен КО, не враховуючи витрати на розробку маневрових систем. Але драматичні події 2007-2009 рр. підтвердили явну нестабільність популяції КС в низькоорбітальній області, у зв'язку з чим було висловлено чимало пропозицій щодо його видалення [1]. При цьому розглядаються такі можливі способи:

- гальмування космічного сміття з наступним повним згорянням його у земній атмосфері;
- захоплення КС з подальшим переведенням його на орбіту захоронення або відведення в щільні шари атмосфери Землі.

З енергетичної точки зору КС вигідніше зводити в атмосферу Землі. У разі ж наявності в його складі радіоактивних речовин зведення КС в атмосферу не може бути реалізоване. Тоді КС потрібно виводити на орбіту захоронення. Проте недоліком поховання на високій орбіті є необхідність в її очищенні в майбутньому, адже в разі зіткнення або вибуху в цій області уламки КС можуть повернутися на колишні орбіти.

Виходячи з вищесказаного, як основний принцип видалення великих об'єктів з навколосезного космічного простору, далі буде розглядатися кероване їх зведення в щільні шари атмосфери шляхом використання спеціального космічного апарата – космічного сміттєзбирача (СЗ).

Розробники з Швейцарського космічного центру (*Swiss Space Center*) представили проект *Clean Space One*, який передбачає в майбутньому створення й виведення в космос цілої флотилії супутників-сміттєзбирачів [9]. Запуск проекту планується на 2015-2016 рр., а першим об'єктом для відводу з орбіти передбачається пікосупутник *Swiss Cube*, запущений в 2009 р. і який ще досі лишається в космосі, або його побратим *Tisat*, що стартував роком пізніше.

Після запуску супутник-сміттєзбирач почне маневрувати, виходячи на траєкторію зближення з ціллю: для цього на борту передбачений ульт-



ракомпактний іонний двигун. Зблизившись з об'єктом, він обережно його захопить і стабілізує політ, пригальмувавши його обертання. У випадку з названими вище пікосупутниками, *Clean Space One* буде при цьому рухатися на швидкості 26000 км/год і висоті від 630 до 750 км. Потім, надійно утримуючи захоплений вантаж, він попрямує вниз, щоб разом з ним згоріти в щільних шарах атмосфери. Втім, загибель, можливо, чекає лише перший випробувальний супутник *Clean Space One*. Надалі такі «сміттєзбирачі» можуть стати і багаторазовими, відправляючи вниз, до Землі, лише свій вантаж, а самі продовжать роботу [9].

Авторами статті розглядається космічний сміттєзбирач (КСЗ), який працює за одноімпульсною схемою [10].

За цією схемою процес видалення КО складається з наступних етапів:

- 1) виведення КСЗ на опорну кругову орбіту висотою 200 км;
- 2) переведення КСЗ власними засобами на орбіту КО, який видаляється;
- 3) маневрування КСЗ для зближення з КО;
- 4) маневрування КСЗ біля КО;
- 5) стабілізація кутової швидкості КО (одним з нижче зазначених способів);
- 6) захоплення КО;
- 7) встановлення модуля відводу на КО;
- 8) орієнтація зв'язки «КО-модуль відводу» в потрібному напрямку;
- 9) маневр віддалення КСЗ від зв'язки «КО-модуль відводу»;
- 10) передача керуючого сигналу на ввімкнення маршового двигуна модуля відводу;
- 11) кероване видалення зв'язки «КО-модуль відводу» в атмосферу Землі.

Найбільш складними в реалізації є етапи зближення та захоплення, КО, оскільки від них залежить, в першу чергу, цілісність та безпека самого КСЗ [11].

Оскільки КО може мати залишкову кутову швидкість, це ускладнює початковий механічний контакт, тому залежно від її значення, вибирається той чи інший спосіб стабілізації швидкості, а саме:

- за відносно великих кутових швидкостей КО має заборонену зону і на першому етапі можна застосувати спосіб, запропонований в одному з патентів США [12], що полягає в скеруванні газових струменів з допоміжних сопел на розрахункові точки на КО для зменшення кутової швидкості;
- за менших, але все ж небезпечних для КСЗ кутових швидкостей в дію вступає маневровий мікросупутник, обладнаний електромагнітними присосками або зчепом, що імітує принцип дії «липучок» лапок геккона [13]. Мікросупутник, маневруючи біля КО, захоплює його і за керуючими сигналами від КСЗ, маючи власну систему орієнтації в просторі, стабілізує кутову швидкість другого;

– за малих кутових швидкостей встановлення мікросупутника на КО відбуватиметься за допомогою маніпуляторів сміттєзбирача. Після того, як КО буде стабілізований, відбувається його стикування з модулем відводу. Стикування з КО відбувається за допомогою робототехнічних пристроїв, або з використанням системи «штир – конус» для КО, що мають сопловий блок [11].

Вибір ДУ модуля відводу визначається параметрами орбіти КО і його масою [14]:

- для низьких орбіт (висотою до 500 км) і середніх за масою КО – газореактивні ДУ;
- для орбіт від 500 до 1000 км і великих за масою КО – рідинні ДУ;
- для більш високих орбіт (від 4000 до 13000 км) – електрореактивні ДУ.

Для швидкої зміни висоти орбіти КО слід використовувати рідинні або деякі газореактивні двигуни, якими, наприклад, є двигуни маневрування для більшості РН чи РБ [14].

Малі уламки КО можуть бути захоплені безпосередньо КСЗ за допомогою маніпуляторів і розміщені в середині його корпусу, де вони залишатимуться до завершення місії КСЗ.

КСЗ оснащується однією маршовою РУ великої тяги та двигунами маневрування малої тяги. Подібними двигунами маневрування оснащений також і маневрувальний мікросупутник, що входить до складу КСЗ. Для маршових задач КСЗ доцільно використовувати ДУ як на базі рідинних ракетних двигунів, так і з застосуванням ракетного двигуна на пастоподібному паливі, оскільки дані типи ДУ дозволяють проводити дроселювання тяги в широких межах (від 10 до 100 %).

Енергозабезпечення маневрувального мікросупутника здійснюється тільки від акумуляторних батарей (АБ), їх підзарядка, як і поповнення робочого тіла для двигунів маневрування та орієнтації, здійснюється від енергосистеми КСЗ.

Стосовно самого сміттєзбирача, його енергозабезпечення здійснюється від фіксованих сонячних батарей (СБ) і АБ. У процесі маневрування КСЗ використовуються тільки АБ, які після видалення чергового КО підзаряджаються від СБ.

### **Вибір РН для виведення засобів відводу КО з навколоземних орбіт**

Дослідження показали, що основною умовою вибору ракети-носія для виведення засобу відводу на потрібну орбіту є близькість забезпечуваного нею нахилу при виведенні до нахилу орбіти знімальних великих об'єктів, що зумовлено потребою близько 120 м/с запасу характеристичної швидкості на кожний градус повороту орбіти. При цьому вантажопідйомність РН на низькі навколоземні орбіти повинна бути не менше маси засо-

### *Розділ 3. Керування*

бу відводу для орбіт з нахилом, що знаходиться в діапазоні кутів, який визначається при розрахунках початкової маси КСЗ.

Виходячи з вищесказаного, для оцінки можливостей РН для запуску КСЗ враховувалися наступні характеристики:

- діапазони висот орбіт виведення;
- діапазони нахилу орбіт виведення;
- вантажопідйомність РН на цих орбітах.

Як критерій відбору КО на видалення розглядалося максимальне значення добутку маси космічного об'єкта на його ймовірність зіткнення з іншими КО. Через відсутність на наш час достовірних даних щодо кутового руху великих КО, його середня кутова швидкість оцінювалась декількома градусами в секунду, що співпадає з оцінкою різних фахівців [15].

В таблиці представлені результати вибору РН для видалення з ННО космічних об'єктів масою 1000 кг і більше.

Як бачимо, до низки відібраних ракет-носіїв входять РН легкого («Космос», «Днепр») та середнього («Свیتязь», «Союз», «Циклон», «Зенит») класів. При цьому перевагу слід віддати вітчизняним ракетам «Циклон-4» та «Зенит».

*Таблиця*

Характеристики РН для виведення засобів відводу з ННО

РН	Нахил, град	Кут повороту, град	Вантажопідйомність, кг
«Космос-3М»	83,0	0,6	1120
«Днепр»	87,3	4,8	1200
«Свیتязь»	90,0	7,5	5600
«Союз-5»	81,4	1,1	6200
«Союз-2»	82,4	0,1	3050
«Циклон-4»	97,8	15,3	3950
«Зенит-2»	98,8	16,3	11600
«Зенит-2SLB»	98,8	16,3	10500

Останнім часом в космічній техніці широкого застосування набувають малі супутники: міні-, мікро-, нано-, піко- та фемтосупутники. Їхня маса не перевищує 500 кг, а для фемтосупутників становить близько 100 г. Для видалення таких відносно малих КО більш ефективним може виявитись використання КСЗ відповідної маси, виведення на орбіту якого можливе за допомогою легких та надлегких РН, таких як «Вега» (США), «Таурус» (США), «Великий похід-2С» (Китай), «Стрела» та «Рокот» (Росія), «Маяк» (Україна) [10].

**Висновки**

Таким чином, подальше використання навколоземного простору повинне супроводжуватися пошуком нових методів його очищення й заходів контролю, що мінімізують або виключають утворення техногенного сміття, інакше через кілька десятиліть вихід у космос стане вкрай небезпечним, оскільки ймовірність зіткнень зі сміттям багаторазово збільшиться.

Запобігання орбітальних вибухів, супутніх польоту технологічних елементів, відвід космічних апаратів, що відпрацювали свій ресурс, на орбіти захоронення та в щільні шари атмосфери, тобто обмеження і, за можливістю, ліквідація техногенних джерел КС є найбільш ефективним методом боротьби із забрудненням навколоземного космічного простору на сьогоднішній день.

За результатами проведених досліджень можна дійти висновку про можливість реалізації активних систем відводу з ННО космічних об'єктів, що підлягають видаленню. При цьому надана оцінка використанню існуючих ракет-носіїв (зокрема створених в Україні) для виведення цих систем на потрібні орбіти.

**Список використаної літератури**

1. *Вениаминов С. С.* Космический мусор – угроза человечеству / С. С. Вениаминов // – М.: Изд-во Инст. космич. исследований РАН, 2013. – 208 с.
2. *Orbital Debris Quarterly News.* – NASA, Jule, 2013. – Volume 17, Issue 3. – 10 p.
3. The New NASA Orbital Debris Engineering Model ORDEM 2000 / J.-C. Liou et al. // NASA TP-2002-210780. – 2002. – 78 p.
4. *Sdunnud H.* The ESA MASTER 2001 Space Debris and Meteoroid Reference Model / H. Sdunnud, J. Bendish, H. Klinkrad // Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Space Debris, Darmstadt, Germany, October 2001. – Darmstadt, 2001. – ESA SP-473.
5. *Krisko P. H.* EVOLVE 4.0 User`s Guide and Handbook / P. H. Krisko// LMSMSS-33020. – 2000.
6. *Krisko P. H.* EVOLVE 4.0 Orbital Debris Mitigation Studies / P. H. Krisko, J. N. Johnson, J. N. Opiela // Adv. Space Research. – 2001. – V. 28(9). – P. 1385-1390.
7. *Liou J. C.* A Three Dimensional LEO-to-GEO Debris Evolutionary Model / J. C. Liou, D. T. Hall, P. H. Krisko, J. N. Opiela// Adv. Space Research. – 2004. – V. 34(5). – P. 981-986.
8. *Техногенное засорение околоземного космического пространства: отраслевое пособие / под. ред. А.П. Алпатова.* – Днепропетровск: Пороги, 2012. – 378 с.

9. *Clean Space One* – перший космічний пилосос [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.swissworld.org/Home/Innovation/Switzerland/Clean Space One – the first orbital vacuum cleaner>.
10. *Технічні засоби для очищення навколоземного космічного простору: навч. посібник* / М. М. Дронь, П. Г. Хорольський, А. В. Хитько, С. Г. Бондаренко, В. А. Безуглий, Л. Г. Дубовик. – Дніпропетровськ, 2013. – 128 с.
11. *Трушляков В. И.* Обзор средств стыковки и захвата объектов крупногабаритного космического мусора / В. И. Трушляков, Е. А. Юткин// Омский научный вестник. – 2013. – Вып. № 2-120. – С. 56-61.
12. Пат. 8226046 США, МПК<sup>2</sup> В64G 1/64. Stabilization of Unstable Space Debris / Dennis Poulos, Redondo Beach. (США). – No. 12/952.886; заявл. 23.11.2010; опубл. 24.07.2012.
13. *Космический мусор уберут с помощью лап гекконов* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://cvavr.ru/Вселенная, Земля и околоорбитальная жизнь/Наука/ Космический мусор уберут с помощью лап гекконов>.
14. *Кушниренко С. И.* Анализ возможности использования различных типов двигательных установок для борьбы с засорением космического пространства / С. И. Кушниренко, В. Е. Шевцов// Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 9 (106). – С. 38-42.
15. Space Transport Development. Using Orbital Debris: NIAC Phase I Review Presentation. – Atlanta, October 24, 2002.

УДК 629. 735. 33.018.7.015.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380412201563502>

О. Л. Лемко<sup>24</sup>, профессор, д.т.н., К. О. Предаченко<sup>25</sup>, аспирант

### ВИНТОКОЛЬЦЕВОЙ ДВИЖИТЕЛЬ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**En**

Small and medium Unmanned Aerial Vehicles use piston engines with different kind of propulsion systems, that incorporate propeller concept. Existed design and optimization methods give possibility to find optimal solution for certain application. Usage appropriately shaped circular housing or duct around propeller in some case sufficiently increase performance, compared to typical propeller. This study aimed made design of ducted fan propulsion system by complex design methods with thrust about 300 kg. Complex method described here incorporate

<sup>24</sup> Національний технічний університет України “КПІ”,  
кафедра приладів та систем керування літальними апаратами

<sup>25</sup> Національний технічний університет України “КПІ”, факультет авіаційних і космічних систем