

*В.П. Харченко, доктор технічних наук (ННАЦ НАУ)
Р.В. Радутний (ННАЦ НАУ)
О.Г. Кириченко (ННАЦ НАУ)
Є.Ю. Коваленко, к.т.н., доцент (НТУУ “КПІ”)
Д.В. Бібік, науковий співробітник (НТУ “ХПІ”)*

Маневруючий кубсат-інспектор

Пропонується концепція кубсата-інспектора для огляду інших космічних апаратів. Конструкція характеризується максимальною простотою, повною відсутністю системи орієнтації, використанням твердопаливних імпульсних двигунів. Передбачено також зведення кубсата з орбіти після виконання місії.

З розвитком космонавтики все актуальнішою стає проблема інспекції запущених космічних апаратів. В першу чергу це потрібно для контролю роботи рухомих та розкладних конструкцій, зокрема, сонячних батарей, радіаторів, антен, сегментів дзеркала телескопів і т.п. Регулярними є випадки, коли телеметрія вказує на збої в роботі цих конструкцій, і розслідування не завжди може показати причину збоїв.

Так, наприклад, не до кінця розкрилася одна панель сонячної батареї космічного апарата Lусу[1], запущеного в жовтні 2021 року; одна з двох панелей космічного апарата “Ресурс-П”[2], запущеного в березні 2016 року; одна з двох панелей супутника Telstar 14R, запущеного в травні 2011 року[3].

Тим часом вартість космічних апаратів досить висока й причина кожного збою має бути з'ясована для уникнення повторення. Невеликий недорогий супутник-інспектор, здатний наблизитися, маневрувати та робити фото- або відеозйомку конструкції міг би істотно полегшити цю задачу й таким чином заощадити чималі кошти.

Не менш актуальною є задача ревізії стану давно запущених космічних апаратів. Періодичний огляд їх дозволив би контролювати фізичний стан, працездатність, ремонтпридатність, допоміг би приймати рішення про продовження ресурсу або зведення з орбіти.

Використання інспекторів можливе також у військових цілях, зокрема, для огляду космічних супротивника, вивчення їхньої конструкції, контролю наявності радіоактивних матеріалів на борту.

Однак задача створення космічного апарата-інспектора не проста. Маневрування на орбіті вимагає досконалої системи орієнтації та маневрування.

При цьому система орієнтації має бути активною та швидкодіючою, здатною змінювати орієнтацію протягом секунд або навіть часток секунди. Так само активною та швидкою має бути система маневрування.

Ці вимоги передбачають використання великої кількості маневрових двигунів, комутації подачі палива та окислювача до них; у разі використання не самозапальних пар палово-окислювач – систем хімічного або електричного запалювання. Щоб уникнути цих складнощів, для маневрових двигунів можуть бути використані холодні стиснені гази, але ефективність таких двигунів в рази менша, аніж двигунів з нагріванням робочого тіла.

Такі складні рушійні системи досить складно вписати в малі габарити. Так, супутник-заправник, який провів дозаправку супутника зв'язку[4], мав масу 35 кг.

Навіть якщо програма не передбачає стиковку або гальмування біля космічного апарата-цілі, габарити апарата-інспектора залишаються досить значними. Так, космічний апарат військового призначення МКV, призначений для кінетичного враження боеголовок балістичних ракет або ворожих космічних апаратів, має масу близько 4.5 кг[5]

Через значні габарити та масу запуск космічних апаратів-інспекторів зазвичай відбувається за допомогою окремої ракети-носія, що неминуче відбивається на вартості місії.

Водночас стрімко розвивається тип космічних апаратів, відомий під назвою кубсати. Кубсати стандарту U1 мають корпуси кубічної форми й стандартизованого розміру 100x100x100 мм. Кубсати стандартів U2 та U3 мають, відповідно, розміри 100x100x200 мм та 100x100x300 мм. Зазвичай вони виводяться в космос як попутний вантаж і не вимагають окремого пуску. Таким чином, інспектор у вигляді кубсата, виведений разом з основним навантаженням, являв би собою цінний додаток до основної цілі місії.

На поточний момент, однак, мініатюризація системи орієнтації, управління та маневрування до розміру кубсата малоймовірна.

Фахівцями Науково-навчального аерокосмічного центра Національного авіаційного університету України ведеться проектування кубсата-інспектора, який використовує інший принцип роботи.

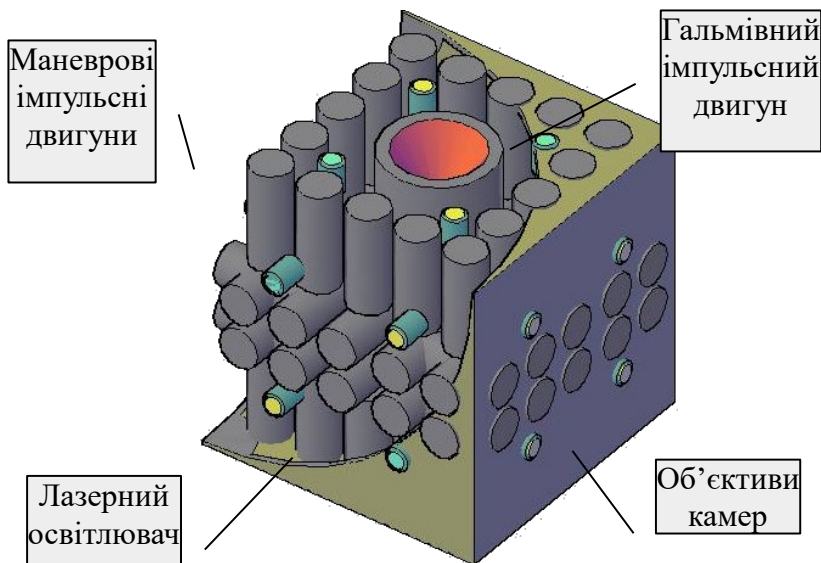
Розробники поставили перед собою задачу взагалі відмовитися від складної системи орієнтації. Політ кубсата неорієнтований. Передбачається, що він буде хаотично обертатися по трьом вісям залежно від останнього імпульсу, отриманого під час відокремлення від ракети-носія або основного корисного навантаження.

На кожній грані кубсата встановлено по три відеокамери, прикриті різними фільтрами. Також на кожній грані може бути встановлена лазерна мультиспектральна система підсвітки. Обертаючись, кубсат час від часу неминуче буде підсвічувати лазерним маркером об'єкт. Система розпізнавання зображень, виявивши маркер, дає команду відеокамерам відповідної грані зробити фото.

Ці ж лазери використовуються для вимірювання відстані до об'єкта.

Система маневрових двигунів також дозволяє обійтися без орієнтування кубсата. Двигуни являють собою одно- та багаторазові імпульсні твердопаливні ракетні двигуни тягою від кількох грамів. Сопла двигунів розташовані також на всіх гранях кубсата. Запалюючи у певні моменти часу один або кілька зарядів у двигунах, кубсат отримуватиме короткі імпульси, які скерують його у потрібний бік.

Очевидно, що з огляду на обертання кубсата, тривалість імпульсів має бути якнайменша. З метою мінімізації її фахівцями ННАЦ було розроблено рецептуру й технологію виготовлення твердого ракетного палива з надзвичайно високою швидкістю горіння. За основу було взяти широковідому рецептуру з використанням перхлорату амонія, силікону, алюмінію та оксиду заліза, описану, наприклад, в [1]. В ході робіт в рецептуру було внесено незначні поправки та випробувано інші матеріали замість алюмінія, зокрема, бор.



Мал.1. Загальна схема кубсата-інспектора

Головною відмінністю стала нова технологія виготовлення палива. Традиційні технології передбачають розмелювання часток перхлорату амонія у кулькових, бісерних або вихрових млинах. Процес є доволі небезпечним і слабо контрольованим, зокрема, в плані можливості отримати необхідний розмір фракцій. Крім того, отримані такими способами гранули мають видовжену, а іноді навіть голкоподібну форму, що негативно впливає на швидкість та стабільність горіння.

Використана фахівцями ННАЦ технологія дозволила отримувати фракції передбаченого розміру, а також заздалегідь передбачену суміш фракцій, при цьому гранули мають переважно круглу або наближену до круглої форму.

Ця ж технологія дозволила скоригувати форму часток алюмінія. Зазвичай частки мають пласку, лускоподібну форму. В ході робіт вдалося дещо скоригувати форму часток, наблизивши її до округлої.

Також технологія дозволяє змішування компонентів палива безпосередньо в ході подрібнювання, що зменшує час на виготовлення палива та дозволяє рівномірніше змішати компоненти.

Слід також зазначити, що зазначена технологія істотно безпечніша.

Отримані зразки палива було сформовано у стержні діаметром 8 мм та довжиною 45 мм. З готовими стержнями було проведено серію експериментів з замірювання швидкості горіння при нормальному атмосферному тиску та підвищеному.

В одному з експериментів вдалося досягти стабільної швидкості горіння 800 мм/с, що є надзвичайно високим показником. Так, типова швидкість горіння композитних палив складає десятки міліметрів на секунду, балістичних — 100-200 мм/сек. Очевидно, досягнутої швидкості більш ніж достатньо для вирішення поставленої задачі.

Для вимірювання швидкості було виготовлено комплект обладнання, який включає у себе товстостінну посудину високого тиску, відому під назвою “бомба Кроуфорда”, електронний датчик диска, електронну систему вимірювання швидкості горіння, систему наддуву посудини стисненим газом[6].



Мал. 2. Підготовка посудини високого тиску для експеримента



Мал.3. Випробування імпульсного двигуна за допомогою макета робота "Еней"

Для підтвердження можливості керування космічним апаратом таким способом було проведено ряд натурних випробувань. В рамках проекту "Еней", який передбачає створення робота для проникнення в лавові трубки на Місяці та має практично аналогічну конструкцію за винятком форми, було випробувано кілька конструкцій імпульсного двигуна. Випробування підтвердили, що незважаючи на хаотичне обертання, короткий імпульс скеровує апарат у потрібному напрямку.

За оцінкою розробників, кубсат-інспектор зможе наблизитися до об'єкта, облетіти його, зробити серію фото та передати їх на об'єкт інспекції, інший космічний апарат або безпосередньо на Землю.

З метою мінімізації засмічення космосу передбачено зведення кубсата-інспектора з орбіти. Один з імпульсних двигунів має більші розміри й за розрахунками здатний змінити швидкість кубсата на 250-300 м/с. Скерований проти напрямку польоту, такий імпульс зменшить швидкість кубсата до суборбітальної, що викличе його падіння та згоряння в атмосфері або ж, у разі використання на високій орбіті, знизить орбіту й прискорить поступове зниження та зходження з орбіти.

Очевидно, запуск інспектора як попутного навантаження, прийнятний не у всіх випадках. Для виводу одного або кількох інспекторів на орбіту може бути використана ракета надлегкого класу, наприклад, новозеландська ракета Electron[7] або українська модульна ракета "Гроно", розробка якої також ведеться фахівцями ННАЦ. У разі використання РН "Гроно" на ННО може бути виведено до 11 кубсатів-інспекторів, або блок орбітального маневрування з корисним навантаженням у вигляді 1-2 кубсатів-інспекторів.

Висновки: запропонована конструкція кубсата-інспектора працездатна, являє собою новий крок в розвитку космонавтики, практична реалізація її має велику наукову та практичну цінність.

Список літератури

1. NASA eyes solar array glitch on new Lucy asteroid spacecraft
<https://www.space.com/lucy-asteroid-spacecraft-solar-array-glitch>
2. RUSSIAN RESURS-P3 SATELLITE ENCOUNTERS SOLAR ARRAY DEPLOYMENT PROBLEMS
<https://www.spaceflightinsider.com/organizations/roscosmos/russian-resurs-p3-satellite-encounters-solar-array-deployment-problems/>
3. Solar panel fails to deploy on Telstar 14R satellite
<https://spaceflightnow.com/news/n1105/25telstar14r/index.html>
4. Tenzing (Tanker 001, Astro Digital Demo 8)
https://space.skyrocket.de/doc_sdat/tenzing.htm
5. Multi-Kill Vehicle [MKV]
<https://www.globalsecurity.org/space/systems/mkv.htm>
6. Радутний Р., Бібік Д., Нетреба В., Сосновський С., Кириченко Є. Компактний універсальний стенд для дослідження швидкоплинних процесів в умовах високого тиску або вакууму // Міжнародна науково-технічна конференція АС ППІ "Промислова гідравліка і пневматика", Київ, НАУ — 2019 — С.162-164
7. Оцінний веб-сайт групи розробників ракети-носія Electron
<https://web.archive.org/web/20160717122422/http://www.rocketlabusa.com/>