

<https://doi.org/10.15407/knit2021.03.039>
УДК 629.7

В. В. ВАСИЛЬЄВ¹, Голова наглядової ради, канд. фіз.-мат. наук, Заслужений економіст України, нагороджений почесною грамотою Кабінету Міністрів України

Л. Я. ГОДУНОК², нач. відділу, Заслужений машинобудівник України

E-mail: godunokla@ukr.net

С. А. МАТВІЄНКО², голов. конструктор конструкторського бюро, канд. техн. наук

¹ Приватне акціонерне товариство «ЕЛМІЗ»

вул. Бориспільська 9, Київ, Україна, 02099

² Приватне акціонерне товариство «Науково-виробничий комплекс «Курс»

вул. Бориспільська 9, Київ, Україна, 02099

ОРБІТАЛЬНИЙ СЕРВІС — КРОК ДО ПОДАЛЬШОГО ОСВОЄННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО КОСМОСУ

Метою публікації є привернення уваги української науково-технічної спільноти до розвитку нового напрямку діяльності в навколоземному космічному просторі — орбітального сервісного обслуговування. Окреслено зміст, розглянуто техніко-економічні передумови та конкурентні переваги його розвитку в Україні. Наведено визначення орбітальних сервісів, таких як інспекція клієнта, орбітальне (міжорбітальне) транспортування, дозаправлення та поповнення запасів, апгрейд, складання, уникнення зіткнень. Проаналізовано компетенції підприємств України в цьому напрямі. Обґрунтовано доцільність та можливість розвитку напрямку орбітального сервісного обслуговування для подальшого освоєння ближнього космосу, розглянуто напрацювання українських підприємств з розробки та виготовлення систем зближення та стикування космічних апаратів. Описано сценарії взаємодії космічного сервісного апарата та клієнтського апарата на навколоземній орбіті. Наведені основні вимоги до здійснення операцій їхнього зближення в автономному режимі, а також до операції захвату клієнтського апарата. Надано пропозиції щодо функціоналу космічних апаратів для надання послуг орбітального космічного обслуговування, запропоновано розглянути питання про необхідність створення спеціалізованих вантажних модулів та приведені приклади їхнього застосування на орбіті.

Розглянуто тенденції підходу до створення конструкцій космічних апаратів, адаптованих для обслуговування на орбіті. Приведено прогнозований обсяг орбітальних сервісних операцій за видами сервісу та за орбітами. Надана інформація про ключових гравців на даному ринку. Приведено конструкцію сервісного апарата, який розробляють АТ «НВК «Курс» і ДП «КБ «Південне» для надання орбітальних транспортних послуг. Вказано особливості його побудови в цілому та склад модулів, а також можливості подальшого розширення його функціональних можливостей.

Ключові слова: орбітальне сервісне обслуговування, космічний апарат, Сервісер, супутник, геостаціонарна орбіта, між-орбітальне транспортування.

ОРБІТАЛЬНЕ СЕРВІСНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ

Навколоземні орбіти все тісніше заповнюються супутниками та космічними апаратами різноманітного функціоналу та призначення. Навколоземний простір дедалі стає не місцем експери-

ментів, а частиною економічної та наукової діяльності людства. Разом з уже звичними напрямками використання навколоземного простору, такими як супутниковий зв'язок, дистанційне зондування Землі, супутникова навігація, з'являються нові види космічної діяльності —

Цитування: Васильєв В. В., Годунок Л. Я., Матвієнко С. А. Орбітальний сервіс — крок до подальшого освоєння навколоземного космосу. *Космічна наука і технологія*. 2021. 27, № 3 (130). С. 39—50. <https://doi.org/10.15407/knit2021.03.039>

орбітальне виробництво, орбітальні енергосистеми, космічний туризм та пов'язана з ним інфраструктура: орбітальні готелі, орбітальні заправки, орбітальні та міжорбітальні транспортні перевезення.

Одним з нових напрямів діяльності є орбітальне сервісне обслуговування (ОСО). Термін «орбітальне сервісне обслуговування» з'явився у лексиконі конструкторів та користувачів космічних апаратів лише в останні 10 років і ще не має формалізованого, закріпленого у законодавстві визначення. Однак створений кілька років тому добровільний консорціум CONFERS (Consortium for Execution of Rendezvous and Servicing Operations) разом з NASA, DOD, AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics) пропонує найближчим часом виправити ситуацію та встановити чітке визначення цього виду космічної діяльності.

Консорціум пропонує розуміти під терміном ОСО сукупність орбітальних сервісів, які виконуються спеціалізованим космічним апаратом (надалі сервісний КА, або Сервісер) стосовно іншого КА (об'єкта), який обслуговується (надалі клієнтський КА, або Клієнт). Кожен з сервісів надається за рахунок певного набору орбітальних робототехнічних операцій. Серед них — зближення, стикування, захват, переміщення, обліт.

Орбітальні сервіси, зокрема, включають в себе:

- **інспекцію Клієнта** — сервіс, який дозволяє під час обльоту Клієнта отримувати інформацію про його технічний стан;

- **орбітальне (міжорбітальне) транспортування** — група сервісів, яка передбачає надання Клієнту додаткових можливостей модифікації та корегування орбіти, переміщення Клієнта по робочій орбіті, підтримання робочої орбітальної позиції Клієнта, міжорбітальні переміщення, трансфер на орбіту захоронення або деорбітування;

- **дозаправлення та поповнення запасів** — сервіс, який дає можливість поповнювати матеріали, що витрачаються Клієнтом протягом виконання місії, такі як робоче тіло (рідина або газ), охолоджувачі, тискоутворювальні матеріали тощо;

- **апгрейд** — сервіс, який дозволяє заміну або додавання певних компонентів або модулів до

апарату Клієнта з метою покращення його технічних характеристик протягом або за межами життєвого циклу;

- **складання** — сервіс, який дозволяє здійснювати монтаж двох або більше об'єктів з метою утворення нового більшого об'єкта, або розширення можливостей наявного;

- **унікнення зіткнень** — сервіс, який дозволяє клієнтським апаратам уникати зіткнення з небажаними космічними об'єктами, або змінювати траєкторії небажаних об'єктів для такого уникнення.

Навіть самі назви апаратів «Сервісер» та «Клієнт» підкреслюють ринковий характер послуг, що надаються.

Фінансові та інтелектуальні ресурси країн та компаній, як завжди, визначають їхню роль і місце у світових космічних перегонах, освоєнні космічного простору, визначають основні напрями і тренди розвитку космічних технологій. Українські підприємства та наукові установи, як частина економічного механізму колишнього СРСР, завжди були ракетно-орієнтованими. Накопичений інтелектуальний потенціал ракетобудування дуже швидко вступив у конфлікт із можливостями та цілями сучасної України в освоєнні космосу. Сьогодні Україна не має в експлуатації власної ракети-носія, власного або хоча б контрольованого космодрому. Держава не виступає замовником запусків КА, а значить і не створює запиту на сталі виробництво ракет-носіїв для потреб держави. Очевидно, що парадигма космічної діяльності та стратегічні цілі України в космосі на певний час повинні змінитися, причому так, щоб за рахунок визначених державою та експертами пріоритетів космічної діяльності не тільки зберегти наявний космічний потенціал, а й створити умови його розвитку. Як неодноразово зазначалося у аналітичних оглядах Інституту космічних досліджень України [9], освоєння ближнього космосу, як зони економічної діяльності України, елементу досягнення цілей сталого розвитку, може стати одним з пріоритетів космічної діяльності країни.

В цьому матеріалі ми спробуємо обґрунтувати можливість та доцільність для держави, бізнес-суспільства країни взяти участь у створенні та

розвитку нового виду космічної діяльності — орбітального космічного сервісу.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ТА ТЕНДЕНЦІЇ (ІННОВАЦІЙНІСТЬ ПРОЦЕСУ). МОЖЛИВОСТІ УКРАЇНИ

Протягом останнього десятиріччя оператори комерційних супутників уважно спостерігали за розвитком технологій ОСО. І зрозуміло чому.

Як правило, комерційні супутникові сузір'я дистанційного зондування Землі та зв'язку, що перебувають в експлуатації, мають високу надійність і працюють на орбіті навіть довше, ніж передбачений їхніми розробниками термін операційного життя, який сьогодні становить до 15 років. Враховуючи швидкий розвиток технологій, наземне обладнання за цей час оновлюється декілька разів. Так виникає ситуація, коли супутникова платформа, наприклад супутників зв'язку, залишається дієздатною, а транспондери морально старішають, або і зовсім виходять з ладу, знижуючи економічну ефективність експлуатації супутників. Непоодинокі випадки деградації акумуляторних батарей або повної витрати робочого тіла при повній дієздатності бортової електронної апаратури супутників.

Саме висока надійність супутників, особливо геостационарних, реальний термін роботи платформи яких значно перевищує проектний час операційного життя, стала однією з економічних передумов розвитку ОСО.

При виготовленні супутників розрахунок необхідних для виконання місії обсягів пального робиться на весь термін операційного життя апарата. В силу різних причин супутники можуть витратити пропеллент раніше, ніж закінчиться їхній термін операційного життя. Дозаправка таких Клієнтів створює умови реалізації їхньої наукової місії або бізнес-програми у повному обсязі.

З точки зору взаємодії з Сервісером космічні об'єкти Клієнта поділяють на кооперовані — такі, що можуть взаємодіяти (наявність інтерфейсів або інформаційний обмін будь-якого виду) з Сервісним апаратом при виконанні сервісних операцій — та некооперовані космічні об'єкти — такі, в конструкції яких жодних форм

інформаційного обміну з Сервісером не передбачено. Зрозуміло, що кооперовані об'єкти значно знижують ризики нештатного виконання операцій обльоту, зближення, інших робототехнічних операцій.

За оцінками експертів [11] поточний стан розвитку технологій орбітального сервісу визначено на рівні TRL6 та таким, який дозволить комерційне використання технологій у найближчі 5–6 років.

Очевидно, що розробка технологій ОСО буде вимагати нових досліджень та інноваційних технічних рішень. Серед них вивчення поведінки рідин в умовах мікрогравітації та відпрацювання відповідних технологій дозаправлення космічних апаратів, вивчення поведінки матеріалів та відпрацювання адитивних технологій виробництва, відпрацювання методів та технологій вторинної переробки КА (інших об'єктів), що відпрацювали термін операційного життя, зварювання в умовах мікрогравітації. Слід зазначити, що цими напрямками українська наука вже займалась і має неабиякі напрацювання.

Інноваційність напряму ОСО створює умови для залучення до розробки та експлуатації сервісних КА широкого кола не тільки відомих та досвідчених наукових установ та підприємств країни, але й початківців-стартаперів, зацікавлених у космічній діяльності, підприємців «нового космосу».

Передвісником ОСО в Україні стала ідея так званого «подвійного старту», описана ДП «КБ «Південне» [3]. Суть ідеї така. Задля збільшення маси корисного навантаження, яке виводиться на орбіту, пуск здійснюється у два етапи: спочатку запускається космічний буксир (сервісний апарат), потім корисне навантаження (клієнтський апарат). На опорній орбіті апарати стикуються. Далі відбувається трансфер пари до точки стояння корисного навантаження на робочій орбіті. Після розстикування Клієнт розпочинає виконувати функції згідно з призначенням, сервісний апарат повертається на опорну орбіту та може використовуватися повторно. Розрахунки показали економічну ефективність такого підходу. Важливу роль у закріпленні ідеї орбітально-транспортного обслуговування зіграв проект

буксиру «Кречет» [7], започаткований ДП «КБ «Південне» в 1990-х рр. і прив'язаний до ракетно-носія «Дніпро». Таким чином, враховуючи досвід розробки та виготовлення КА українськими підприємствами, можна стверджувати, що розвиток цієї компетенції робить питання розробки та виготовлення платформи для Сервісера реалістичною.

Ще одна важлива компетенція українських підприємств — розробка та виготовлення систем зближення та стикування. Тридцятирічний досвід компанії АТ «НВК «Курс» з супроводу виготовлення апаратури стикування космічних кораблів «Союз» та «Прогрес» з Міжнародною космічною станцією (МКС) дозволяє впевнено говорити про можливість створення такої системи для апаратів орбітального сервісу. Слід зазначити, що розробки українських інженерів передбачають здійснення операцій зближення Сервісера та Клієнта в автономному режимі, що суттєво відрізняє їх від світових аналогів. Ба більше, суттєвою конкурентною перевагою українського підходу до створення систем зближення та стикування є використання радіолокаторів як базових елементів забезпечення взаємних вимірювань під час зближення об'єктів [5]. Одним з викликів для інженерів, які конструюють Сервісери, є організація неруйнівної взаємодії Сервісера з апаратом «Клієнта». Адже Сервісер повинен не тільки зблизитись з клієнтським апаратом, а й виконати операцію захвату (стикування), здійснити подальше сервісне обслуговування, а потім розстикуватися. Ця задача особливо ускладнюється, коли рух клієнтського космічного об'єкта є непередбачуваним.

Спеціалістами АТ «НВК «Курс» та ДП «КБ «Південне» розроблено концептуальний проект зі створення Сервісера. У розробці проекту також брали участь спеціалісти Інституту космічних досліджень НАН України та ДКА України, Радіоастрономічного інституту НАН України, ТОВ «НВП «ХАРТРОН-ЮКОМ», НТУУ КПІ, ТОВ «ДІМ РОБОТІВ».

Рядом установ України проводились дослідження, пов'язані з проблемами ОСО.

Серед напрямів наукових досліджень відділу системного аналізу та проблем управління Ін-

ституту технічної механіки НАН України та ДКА України були: дослідження динаміки космічного маніпулятора; балістика систем орбітального сервісу; проблеми космічного сміття [1]. Також спеціалістами інституту запропоновано метод вибору оптимального маршруту ОСО, розроблено математичну модель для аналізу ризикових ситуацій вибору оптимальних маршрутів ОСО в умовах стохастичної невизначеності орбітальних параметрів [2]. Спеціалістами цього ж інституту проведено систематизацію результатів досліджень, присвячених процесу обробки вимірювальної інформації про параметри некооперованих космічних об'єктів, проведено аналіз публікацій щодо методів орбітального дистанційного визначення параметрів космічних об'єктів і параметрів їхнього руху, дана характеристика розроблених методів [8].

В Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара проведено розрахунки основних характеристик запропонованого сміттезбирального космічного апарата в залежності від енергетичних можливостей використовуваних ракет-носіїв [6].

Окремим питанням є створення наземної інфраструктури керування Сервісером (флотом Сервісерів). Технічна база для вирішення цієї задачі в Україні є, однак буде необхідною розробка спеціального програмного забезпечення експлуатації сервісного КА.

Організація орбітального сервісу є перспективним напрямом розвитку космічної індустрії для України ще й тому, що передбачає будівництво не одного апарата, а створення та експлуатацію флоту Сервісерів, що розташовані на різних орбітах та працюють у режимі очікування контракту на надання послуг. Крім того, буде необхідна їхня заміна після закінчення терміну операційного життя. Для промисловості це означає певну серійність виготовлення Сервісерів, а значить економічну ефективність виробництва.

Становлення орбітального сервісу як виду діяльності буде вимагати окремого регулювання та юридичної підтримки. Оскільки є ризики нештатного виконання сервісних операцій, необхідно чітко розмежувати відповідальність між замовником та виконавцем орбітальних послуг.

Таке регулювання повинно відпрацьовуватись на міжнародному рівні. Чинні на сьогодні міжнародні нормативні акти хоча і регулюють у загальному вигляді сектор орбітального сервісу, але не враховують багатьох нюансів. Тільки у США тимчасово впроваджено ліцензування такої діяльності. Україна має багатий досвід розробки таких нормативних документів та висококласних фахівців, які повинні взяти участь в роботі міжнародних робочих груп з цього питання [10].

ВПЛИВ ОРБІТАЛЬНОГО СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА МАЙБУТНЄ СУПУТНИКОБУДУВАННЯ

Розвиток технологій ОСО в свою чергу змінює парадигму супутникобудування. Успішні приклади проведення орбітальних сервісів та економічні переваги визначають тенденцію на зміну сьогоднішніх підходів до конструкції КА у бік створення кооперованих КА та таких, що можуть активно обслуговуватись. У першу чергу йдеться про модульний принцип побудови платформ апаратів, причому модулі повинні передбачати відносно прості інтерфейси, можливості обслуговування (заміни) модулів та певних елементів на орбіті. Крім цього, такий дизайн дасть змогу зменшити рівень резервування апаратури, а значить зменшити масогабаритні характеристики апарата і, як наслідок, зекономити на оплаті пускових послуг.

Модульний дизайн створює умови для апгрейду супутників на орбіті, а дозуправлення дає можливість забезпечити апарат мінімально необхідним обсягом робочого тіла під час пуску і, знов-таки, зекономити на пускових послугах. Можливо, на першому етапі модульний дизайн зробить виготовлення КА дорожчим, але поступова стандартизація службових модулів КА, систем зближення та інтерфейсів стикування або захвату, конекторів для дозуправлення безумовно знизить собівартість виготовлення таких КА. Саме задля такої стандартизації і створено консорціум CONFERS, про який ми вже згадували раніше.

Зрозуміло, що виконання операцій з будівництва (збирання) великих орбітальних об'єктів

також буде вимагати кооперованості космічних модулів між собою та сервісним робототехнічним апаратом.

Тож кооперованість та придатність до обслуговування будуть визначальними трендами сучасного супутникобудування у найближчі роки.

СТАН РИНКУ, КЛЮЧОВІ ГРАВЦІ

За даними звіту провідної аналітичної компанії NSR's (Northern Sky Research) In-Orbit Servicing Markets, 2nd Edition (IoSM2) до 2028 р. прогнозований загальний обсяг орбітальних сервісних операцій сягне 4.5 млрд доларів (рис. 1, 2).

Далі наведемо неповний перелік першопрохідців.



Рис. 1. Глобальний кумулятивний попит за видами сервісу



Рис. 2. Глобальний кумулятивний попит за видами орбіт

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). «Orbital Express» був космічною місією, керованою DARPA і групою, очолюваною інженерами в Центрі космічних польотів ім. Маршала MSFC (Marshall Space Flight Center) НАСА.

Програма Orbital Express була спрямована на розробку «безпечного та економічно ефективного підходу до автономного обслуговування супутників на орбіті».

Система складалася з двох космічних апаратів: обслуговувального супутника ASTRO та експериментального модульного, призначеного для обслуговування супутника наступного покоління NextSat. Місія стартувала зі станції ВПС Кейп-Канаверал 8 березня 2007 року на борту одноразової ракети-носія «Atlas V». Запуск був частиною програми космічних випробувань ВПС США STP-1. На жаль, завдання місії не були виконані у повному обсязі, і демонстрація обмежилась тільки процесом зближення.

Інший проєкт DARPA, який перебуває в стадії розробки, — Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites (RSGS). Проєкт, задуманий як приватно-державне партнерство, передбачає створення апарата для інспекції, апгрейду та орбітального трансферу клієнтських супутників, має очевидне комерційне направлення.

Orbital Recovery Limited (ORL) з Великобританії — чи не один з піонерів розробки апаратів продовження орбітального життя супутників. Апарат ConeXpress (CX-OLEV — ConeXpress Orbital Life Extension Vehicle) може продовжити термін служби великих геостационарних супутників на термін до 12 років. Він також може повертати супутники, запуснені на неправильні орбіти, переміщати їх уздовж орбітальної дуги або маневрувати на орбіту поховання. ConeXpress — це повністю європейська ініціатива, і це єдиний комерційний проєкт з обслуговування на орбіті, що перебуває у стадії розробки. При зближенні реалізуються чотири ступені ручного керування для входження в конус причалування, а потім здійснюється автоматичне центрування за допомогою внутрішніх лазерів.

«Northrop Grumman Innovation Systems» (NGIS) — на сьогодні одна з найбільш успішних компаній, яка вже на практиці доводить концеп-

цію ОСО. Запущений в грудні 2019 р. сервісний апарат MEV-1 успішно виконав умови контракту з Intelsat, здійснивши 25 лютого 2020 р. перше в світі успішне стикування на навколосезній орбіті зі старим телекомукаційним супутником «Intelsat 901». Цей Сервісер перемістив «Intelsat 901» з орбіти захоронення на геостационарну орбіту у нову точку стояння, де буде утримувати його протягом п'яти років. Ця подія без перебільшення стала переломним моментом у розвитку ОСО. Апарат MEV-2, запущений в липні 2020 р., буде виконувати аналогічну місію щодо супутника «Intelsat 10-02», що безумовно підтверджує лідерство NGIS на ринку ОСО. Апарат наступного покоління MRV, який перебуває на стадії виготовлення, буде мати ширший функціонал з надання послуг інспекції, орбітального трансферу та апгрейду клієнтських супутників. У стадії розробки перебуває концептуальна місія Commercial Infrastructure for Robotic Assembly and Services (CIRAS), яка передбачає використання апаратів MEV та MRV для відпрацювання процесу збирання крупних структур на орбіті.

Проєкт Clean Space був започаткований Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), федеральним технологічним інститутом Лозанни. Для реалізації проєкту EPFL створив приватну компанію ClearSpace. У 2019 р. ця компанія виграла конкурс на контракт з програмою космічної безпеки Європейського космічного агентства в рамках проєкту «Активне видалення сміття/обслуговування на орбіті» (ADRIOS — Active Debris Removal/In-Orbit Servicing). Стартап ClearSpace очолив програму Швейцарського космічного агентства з демонстрації активного видалення сміття шляхом захоплення кубсата, SwissCube-1, запущеного в 2009 році. Проєкт перебуває у стадії реалізації.

Компанія «Astroscale Holdings». Програма End-of-Life Service by Astroscale (ELSA) — це програма оновлення та підтримки космічних апаратів, операційне життя яких закінчується, для операторів супутників. ELSA-d (демонстраційна) — перша місія, яка демонструє основні технології, необхідні для захвату і видалення сміття.

ELSA-d, запуск якого був запланований на 2020 рік, складається з двох космічних апара-

тів, сервісного КА (≈ 184 кг) і клієнтського КА (≈ 20 кг), запущених у зістикованому стані. Сервісний КА обладнано технологіями безконтактного зближення і магнітним пристроєм для стикування, тоді як у клієнтського КА є феромагнітна пластина, яка дозволяє встановлювати його на док-станцію. Сервісний КА буде неодноразово випускати і закріплювати клієнтський КА в серії технічних демонстрацій, які доводять можливість пошуку і стикування зі сміттям. Демонстрації включають в себе пошук клієнтського КА, його огляд, зближення, а також захват. ELSA-d буде експлуатуватися з Центру керування обслуговуванням на орбіті — Національного об'єкта в Харвелле, Великобританія, який розробляється «Astroscale» як ключова частина наземного сегмента.

У лютому 2020 р. «Astroscale» оголосила про те, що її обрано комерційним партнером японського агентства аерокосмічних досліджень (JAXA) для першого етапу проекту з видалення космічного сміття. Демонстраційний проект JAXA з комерційного видалення сміття CRD2 (Commercial Removal of Debris) складається з двох етапів однієї з перших в світі місій з видалення сміття великого розміру, перший з яких було доручено «Astroscale». Передбачається, що перший етап буде продемонстровано в кінці 2022 фінансового року в Японії і буде зосереджено на збиранні даних про корпус верхнього ступеня японської ракети як цільового об'єкта. «Astroscale» відповідатиме за виробництво, запуск і експлуатацію супутника, який буде обстежувати корпус ракети, збирати і передавати дані про параметри руху, щоб краще розуміти стан об'єкта. Проект CRD2 ще більше зміцнить лідерство Японії в розробці технологій і політики, які будуть стимулювати цей зростаючий ринок.

Компанія «Effective Space» зі штаб-квартирою у Великобританії має багаторічний досвід розробки та експлуатації малих супутників. У рамках першого підписаного «Effective Space» контракту буде запущено два космічних кораблі SPACE DRONE™, щоб продовжити термін служби двох супутників зв'язку на орбіті.

Оголошено, що орбітальний апарат здатний розвантажити до 20 супутників, по одному на

місяць, і/або дозволити утримання клієнтського апарата у точці стояння протягом чотирьох років. Вартість проектування, збирання, запуску, страхування і експлуатації першого супутника оцінюється приблизно у 40 мільйонів доларів.

Гарантовані послуги SPACE DRONE™, що надаються космічному апарату клієнта, включають в себе утримання в точці стояння і контроль орієнтації, переміщення по робочій орбіті і деорбітування, корекцію орбіти, введення в експлуатацію (Bringing into use — BIU).

Сервісер SPACE DRONE™ має такі загальні характеристики: стартова маса — 400 кг; термін служби на орбіті — 15 років; спільна експлуатація з використанням кільця Grand ESPA; сумісність з кільцем адаптера діаметром 937/1194/1666 мм; обслуговування клієнтських супутників вагою від 1500 до 4000 кг.

Компанія «Orbit Fab» пропонує поставку ракетного палива для супутників на навколоземній орбіті, розширюючи операційний потенціал нових та наявних космічних об'єктів і забезпечуючи безпрецедентну гнучкість бізнес-моделі для власників супутників. Співзасновники Даніель Фабер, генеральний директор, і Джеремі Шив, директор з маркетингу, працюють над створенням першої в світі заправної станції для заправки супутників.

Технологія RAFTI підтримує функцію багаторазового стикування двох КА. Механізм засувки подвійної дії забезпечує значне зміщення по всіх осях під час процесу стикування, що дозволяє виконувати операції самовирівнювання без необхідності використання складних маніпуляторів. Високе затискне зусилля системи заправлення забезпечує можливість подачі рідин під високим тиском і переміщення тіла супутника. Надійність підвищено завдяки мінімізації площ ковзних поверхонь та вилученню з процесу двигунів або механізмів.

Компанія «Momentum» створює космічний еквівалент подвійного старту. Клієнт використовує недорогу ракету, щоб доставити корисне навантаження на загальну орбіту, а потім, скориставшись транспортним засобом «Vigoride», може доставити свій супутник на будь-яку призначену для користувача орбіту.

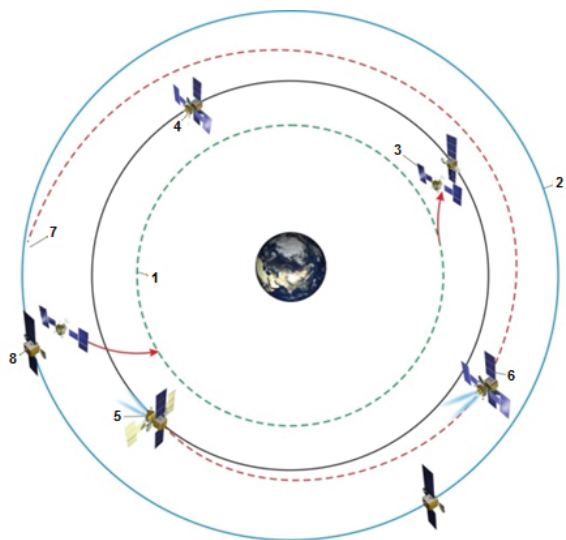


Рис. 3. Орбітальний маневр доведення Клієнта на GEO: 1 — опорна орбіта Сервісера, 2 — GEO, 3 — перехід Сервісера з опорної орбіти на орбіту Клієнта, який виведений з похибкою, 4 — зближення та захоплення Сервісером Клієнта, 5 — надання Сервісеру імпульсу для переходу, 6 — перехід пари Сервісер — Клієнт на GEO, 7–8 — установка пари в точку стояння Клієнта. Відділення Сервісера від Клієнта

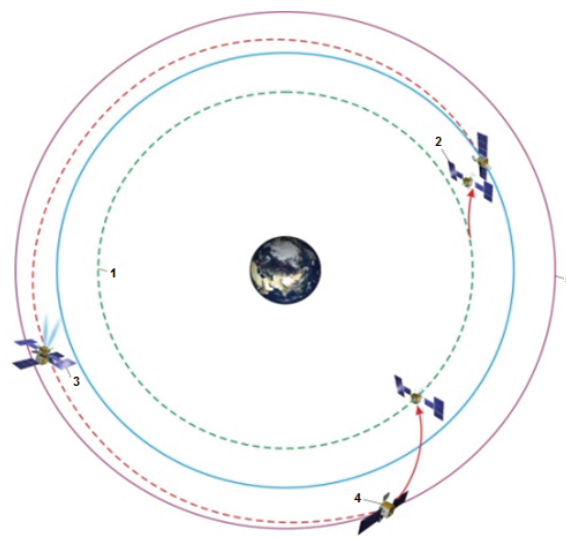


Рис. 5. Орбітальний маневр переведення Клієнта на орбіту захоронення (300 км вище GEO): 1 — опорна орбіта Сервісера, 2 — перехід Сервісера з опорної орбіти на GEO. Зближення та захоплення Сервісером Клієнта, 3 — орбітальний маневр переходу пари Сервісер — Клієнт на орбіту захоронення, 4 — відділення Сервісера від Клієнта та перехід Сервісера на опорну орбіту, 5 — орбіта захоронення

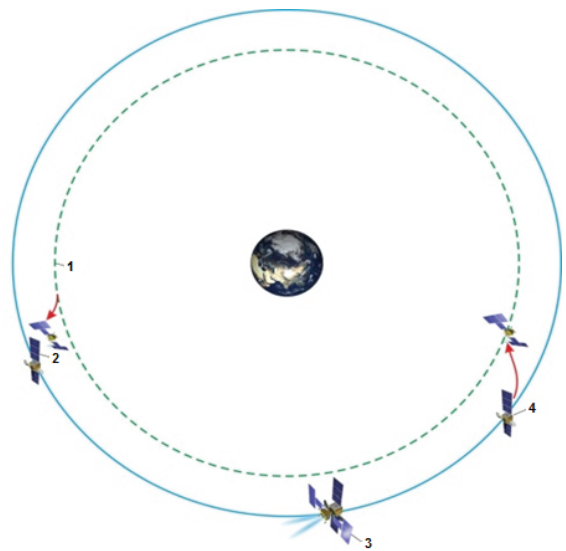


Рис. 4. Переміщення Клієнта в іншу точку стояння на GEO: 1 — опорна орбіта Сервісера, 2 — перехід Сервісера з опорної орбіти на GEO. Зближення та захоплення Сервісером Клієнта, 3 — перехід пари Сервісер — Клієнт в нову точку стояння на GEO, 4 — відділення Сервісера від Клієнта та перехід Сервісера на опорну орбіту

«Momentus» — перша компанія, що планує надавати послуги мультимодального транспортування супутників та доставляє невеликі супутники на точні орбіти дешевше і швидше завдяки стикувальним польотам в космосі. Поточна версія «Vigoride» — це одноразовий космічний корабель, який доставляє клієнтський корабель від точки доставки ракети-носія до бажаної кінцевої орбіти Клієнта. Компанія працює над створенням лінійки апаратів Сервісерів, які могли б працювати і на високих орбітах.

Компанія «Maxar Technologies» отримала повноваження від НАСА в рамках проекту RESTORE-L щодо створення спеціалізованого апарата для відновлення та дозаправки супутників на низькій орбіті. Наразі іде збирання спеціалізованого апарата, для якого обрана платформа «Maxar» класу 1300. Пуск апарата планується на 2023 рік для обслуговування супутника «Landsat 7».

Ще один з проєктів компанії — створення апарата «Dragonfly» для розширення та збирання крупних космічних об'єктів на орбіті.

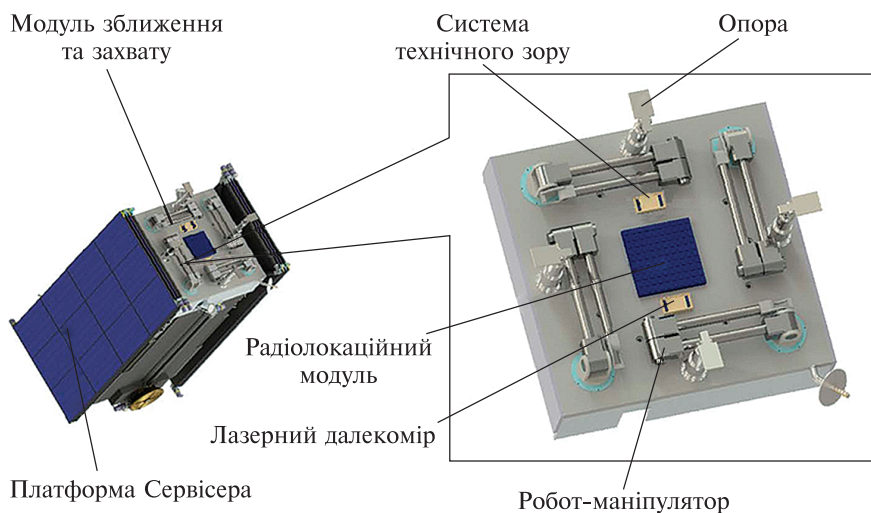


Рис. 6. Сервісер: платформа та модуль зближення та захвату

Компанію «Made in Space» створено у серпні 2010 року у містечку Маунтін Вью (Каліфорнія) з метою вивчення можливостей організації позаземного застосування адитивних технологій в умовах мікрогравітації. Вже в 2016 році розроблені компанією 3D-принтер та додаткове обладнання в рамках програми Additive Manufacturing Facility (AMF) запрацювали на МКС.

ОРБІТАЛЬНИЙ (МІЖОРБІТАЛЬНИЙ) ТРАНСПОРТНИЙ СЕРВІС

Як видно з попередніх розділів, ОСО включає в себе надання широкого спектру орбітальних послуг, однак навряд чи можливо створити універсальний Сервісер, здатний надавати всі види сервісів. Проектування та виготовлення КА орбітального сервісу безумовно буде вимагати певної спеціалізації функціоналу. Якщо створення Сервісера, здатного надавати послуги апгрейду, дозаправлення, збирання на орбіті видається поки що перспективою, то Сервісер для надання транспортних послуг є сьогоденням, а його створення та експлуатація під силу українським вченим, інженерам та компаніям.

Транспортний сервіс є сукупністю кількох сервісів: зміна та корегування орбіти Клієнта; переміщення Клієнта по робочій орбіті; підтримання робочої орбітальної позиції Клієнта; міжорбітальні переміщення; трансфер на орбіту захоронення або деорбітування. Попит на саме

ці сервіси, відповідно до маркетингових досліджень, становить сьогодні майже 25 % кумулятивного попиту (див. рис. 2). Однак це лише невеликий перелік, так би мовити, «якірних» операцій, які вже сьогодні продемонстровані та можуть розглядатися як системні. Схематично послідовність виконання сервісних операцій показано на рис. 3—5. Зрозуміло, що обирати опорну орбіту Сервісера потрібно виходячи із завдань, які стоять перед Сервісером для виконання місії.

Розпочата АТ «НВК «Курс» та ДП «КБ «Південне» розробка ескізного проекту Сервісера для надання транспортних послуг передбачає, що цей апарат будується за модульним принципом та складається з двох основних модулів (рис. 6):

- платформи в двох варіантах — для застосування на геостационарній та низькій орбітах;
- модуля зближення та захвату.

Платформа апарата складається зі стандартних службових модулів і також побудована за модульним принципом. Важливо зазначити, що платформа також містить систему дозаправлення апарата. Такий підхід до проектування не тільки відповідає зазначеним нами вище світовим трендам, а й створює умови для подальшого розширення функціональних можливостей Сервісера. Модуль зближення та захвату містить системи зближення та систему захвату, причому в систему зближення входять радіолокаційний

модуль, система технічного зору та лазерний далекомір.

Необхідність у трансфері космічних об'єктів виникає не тільки щодо космічних апаратів. Сфера застосувань транспортних послуг значно ширша [4]. Так, наприклад, ЄКА оголосило про створення апарата, який досягне астероїдів Didymos і Dimorphos в 2026 році та здійснить зміну їхньої траєкторії (місія DART). Кінцевою метою місії є відпрацювання техніки відхилення астероїдів апаратом програми та комерціалізація технології.

При видаленні космічного сміття середнього розміру ефективніше було б накопичувати його у спеціалізований транспортний контейнер, який потім за допомогою Сервісера деорбітувати. На порядку денному сьогодні і створення спеціалізованих вантажних модулів, які здатні завантажуватись в умовах космічного простору, кооперовано стикуватись та розстикуватись з Сервісером, який буде переміщувати ці модулі у точку призначення та розвантажуватись. Таким чином, у перспективі можна буде задовольняти потреби майбутніх космічних готелів, здійснювати доставку корисних копалин, добутих з астероїдів, доставляти паливо для орбітальних заправних станцій. Аналогія з наземними трейлерами як прототипом очевидна. Коротше кажучи, з точки зору споживача спеціалізований вантажний модуль повинен забезпечити завантаження/розвантаження вантажів як на Землі, так і в умовах невагомості або мікрогравітації, багаторазове коопероване стикування/розстикування з Сервісером та космічними об'єктами Клієнта.

ВИСНОВОК

Найближчим часом космічні апарати орбітального сервісу стануть елементами космічної інфраструктури, і не тільки в навколосемному кос-

мічному просторі. Реалізація українськими науковцями та інженерами проекту створення, виробництва та експлуатації вітчизняного Сервісера відкриває широкі можливості міжнародної кооперації. Фактично йдеться про зайняття нової перспективної ніші у світовому розподілі праці у ближньому космосі.

У випадку підтвердження ефективності експлуатації апаратів на навколосемних орбітах можливе їхнє застосування на навколосемісячних орбітах, що могло би стати суттєвим внеском України у програму Артеміда.

Ринок орбітальних послуг є молодим і таким, що швидко розвивається. Це поки що означає відсутність жорсткої міжнародної конкуренції у порівнянні з такими бізнес-напрямами, як пускові послуги, космічний зв'язок, дистанційне зондування Землі, де інші країни та компанії мають потужні конкурентні переваги.

Українські вчені та інженери мають широке коло компетенцій, пов'язане зі створенням апаратів орбітального сервісу, що є найголовнішою передумовою їхнього створення. Особливо це стосується Сервісера, який надає транспортні послуги в навколосемному космічному просторі. Розробляється ескізний проєкт такого апарата та ведеться відпрацювання його модулів. Попередні економічні розрахунки показують реалістичність можливих витрат на створення Сервісера, а також швидкоможливість комерціалізації, що створює умови для залучення приватних інвестицій до фінансування проєкту.

Розробка проєкту створює умови для подальшого нарощування функціональних можливостей апарата, впровадження нових видів орбітальних (міжорбітальних) сервісів, суттєвого розширення сфер застосування Сервісера, ставить нові технічні завдання, які потребують вирішення на науковому та інженерному рівні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алпатов А. П. Системный анализ проектов космической отрасли, динамика и управление орбитальными комплексами. *Техн. мех.* 2018. № 3. С. 121—137.
2. Алпатов А. П., Гольдштейн Ю. М. О выборе оптимального маршрута орбитального сервисного обслуживания. *Техн. мех.* 2019. № 4. С. 21—28.
3. *Аналіз можливості створення космічного ракетного комплексу «Подвійний старт»*: техн. звіт. Дніпропетровськ: ДП «КБ «Південне ім. М. К. Янгеля», 2006. № 21.15467.307 ОТ.
4. Васильев В. В. *Введение в орбитальное сервисное обслуживание*. Киев: Элмис, 2013.
5. Васильев В. В., Годунок Л. А., Волков В. А., Мельничук С. В., Деркач С. В., Сомов А. В. О построении адаптируемой системы взаимных измерений для автономного сближения космических аппаратов с некооперируемыми космическими объектами. *Космічна наука і технологія*. 2020. **26**, № 3 (124). С. 42—54.
6. Дронь Н. М., Дубовик Л. Г., Кондратьев А. И., Хорольский П. Г. Расчет характеристик космического аппарата для сбора мелкого космического мусора. *Вестн. двигателестроения*. 2010. № 1. С. 24—28.
7. Зайцева А. Ю., Маслей В. Н., Галабурда Д. А., Белоусов К. Г., Москалев С. И., Зайцев С. С., Шовкопляс Ю. А. Электрореактивный буксир для межорбитальной транспортировки космических аппаратов. *Космічна наука і технологія*. 2015. **21**, № 5 (96). С. 24—27.
8. Савчук А. П., Фоков А. А. Определение параметров некооперированных объектов в задачах орбитального сервиса. *Техн. мех.* 2018. № 4. С. 30—45.
9. Федоров О. П. *Космічна діяльність: підходи до розробки стратегії Why space for Ukraine*. Київ: Наук. думка, 2019.
10. Шемшученко Ю. С., Малишева Н. Р. *Безпека космічної діяльності: правові засади*. Київ: Ін-т держави і права ім. В. М. Корецького НАН України, 2018.
11. Davis J. P., Mayberry J. P., Penn J. P. *On-orbit Servicing: Inspection, repair, refuel, upgrade, and assembly of satellites in space*. Aerospace Corporation, Center for space policy and strategy, 2019.

Стаття надійшла до редакції 24.11.2020

REFERENCES

1. Alpatov A. P. (2018). System analysis of space industry projects, dynamics and control of orbital complexes. *Technical mechanics*, No. 3, 121—137.
2. Alpatov A. P., Goldshtein Y. M. (2019). On the choice of the optimal route for orbital service. *Technical mechanics*, No. 4, 21—28.
3. *Double launch: Technical report* (2006). State Enterprise Design Office “Yuzhnoe”, № 21.15467.307 OT.
4. Vasylyev V. V. (2013). *Introduction to on orbit servicing*. Kyiv: Elmiz [in Russian].
5. Vasylyev V., Godunok L., Volkov V., Melnichuk S., Derkach S., Somov A. (2020). On construction of adaptable mutual measurements system for autonomous rendezvous of spacecrafts with non cooperative space objects. *Space Science and Technology*, **26**, No. 3 (124), 42—54.
6. Dron N. M., Dubovik L. G., Kondratiev A. I., Horolsky P. G. (2010). Calculation of performance characteristics of the space vehicle for collection of small-sized space garbage. *Engine building bulletin*, No. 1, 24—28.
7. Zaitseva A. Yu., Maslei V. N., Galaburda D. A., Belousov K. G., Moskalov S. I., Zaicev S. S., Shovkopliyas Yu. A. (2015). Electrojet tugs for spacecrafts interorbital transportation. *Space Science and Technology*, **21**, No. 5 (96), 24—27.
8. Savchuk A. P., Fokov A. A. (2018). Determination of the parameters of uncooperative objects in the tasks of the orbital service. *Technical mechanics*, No. 4, 30—45.
9. Fedorov O. P. (2019). *Space activity: Approaches to strategy formation. Why space for Ukraine*. Kyiv: Naukova dumka.
10. Shemshuchenko Y. S., Malysheva N. R. and others. *Safety of space activities: legal issues*. Kyiv: Research institute of State and law, National Academy of Sciences, 2018.
11. Davis J. P., Mayberry J. P., Penn J. P. (2019). *On-orbit Servicing: Inspection, repair, refuel, upgrade, and assembly of satellites in space*. Aerospace Corporation, Center for space policy and strategy.

Received 24.11.2020

*V. V. Vasylyev*¹, Head of Supervisory Board, Ph. D. in Phys. & Math., Honored Economist of Ukraine

*L. A. Godunok*², Head of Design Bureau Department, Honored Machine Builder of Ukraine

E-mail: godunokla@ukr.net

*S. A. Matviienko*², Chief Designer, Ph. D. in Tech. Sci.

¹ Private Joint Stock Company “ELMIZ”

9 Boryspilska Str., Kyiv, 02099 Ukraine

² Private Joint Stock Company “Research and Production Complex “KURS”

9 Boryspilska Str., Kyiv, 02099 Ukraine

ON-ORBIT SERVICING — A STEP TOWARDS FURTHER EXPLORATION OF NEAR-EARTH SPACE

The purpose of the publication is to draw the attention of the Ukrainian scientific and technical community to the development of a new area of activity in outer space - orbital service. The content, technical and economic preconditions, and competitive advantages of its development in Ukraine are outlined. Definitions of orbital services such as customer inspection, orbital (inter-orbital) transportation, refueling and resupply, upgrade, assembly, collision avoidance are given. The competence of Ukrainian enterprises in this direction has been analyzed. The expediency and possibility of developing the direction of orbital servicing for further exploration of near space, in particular, the expertise of Ukrainian enterprises for the development and manufacture of systems for rendezvous and docking of spacecraft, have been substantiated. Scenarios of interaction between a space service vehicle and a client vehicle in near-earth orbit are described. The basic requirements for carrying out of the Servicer and the Client autonomous proximity operations, as well as the operation of seizing the client machine, are given. Proposals for the functionality of spacecraft for the provision of orbital space services are presented. It is proposed to consider the need to create specialized cargo modules, and examples of their application in orbit are given.

The tendencies of the approach to the creation of spacecraft structures adapted for in-orbit service are considered. The predicted volume of orbital service operations by type of service and with orbits is given. The information about the key players in a given market is provided. The design of the Servicer, which is being developed by PJSC RPC “KURS” and Yuzhnoye State Design Office for the provision of transport services, is presented. The features of its construction in general and the composition of the modules are explicated, as well as the possibility of further expanding the Servicer’s functionality.

Keywords: on-orbit servicing, spacecraft, Servicer, satellite, geostationary orbit, inter-orbital transportation.