

ОРГАНІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ НАВКОЛОМІСЯЧНИМ УГРУПОВАННЯМ КУБСАТ (CUBESAT) ЗА ДОПОМОГОЮ МІСЯЧНОГО ПОСАДКОВОГО МОДУЛЯ

¹Вигівський М.С., ¹Денисенко М.С., ¹Наритник Т.М., ²Капштик С.В.

*¹Навчально-науковий інститут телекомунікаційних
систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

²Національний центр управління та випробувань космічних засобів

*E-mail: huaweibgablek@gmail.com; maxdeniss56@gmail.com;
director@mitris.com; sergii.kapshtyk@gmail.com*

ORGANIZATION OF CUBESAT CUBESAT MANAGEMENT WITH THE HELP OF THE LUNAR LANDING MODULE

In this work was discussed proposals for organizing and managing the exploration and detection of valuable resources, as well as detailed study of the geology and composition of the Moon using a group of CubeSat optical-type satellites. It is proposed to place two landing modules on the poles of the Moon, each containing five CubeSat satellites. These satellites will use optical imaging to explore the surface of the Moon and search for valuable resources. The results obtained can be an important step in further space exploration and the exploration of the Moon.

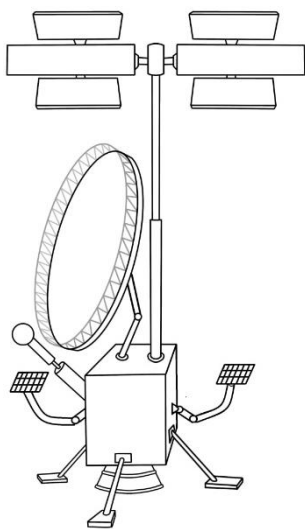
Місяць – єдиний природний супутник Землі. Тому через відносно невелику відстань, в масштабі галактики, він є потенційним об'єктом для колонізації, видобутку корисних копалин, створення місячної бази та космодому, що буде виконувати функцію проміжної ланки (своєрідного транзитного пункту) між Землею й іншими, відносно близькими до неї, потенційними об'єктами колонізації. Отримані знання та відпрацьовані технології планується використати для подальшого освоєння космосу. Розуміючи важливість дослідження Місяця, США, Китай, Європа, Індія та інші країни розробляють власні та спільні Місячні місії для ретельного дослідження рельєфу, складу реголіту і місць скупчення та розподілу корисних копалин. Серед Місячних місій варто виділити Artemis: ця місія, яку планує запустити NASA, має на меті посадку першої жінки та наступного чоловіка на Місяць до 2024 року. Головна мета місії - дослідження для розбудови на Місяці постійної бази та розширення знань про поведінку людини в умовах низької гравітації. SMART-1: Ця місія була запущена Європейським космічним агентством (ESA) в 2003 році. Це була перша місія ESA на Місяць. Головною метою місії було дослідження Місяця та технологій польотів до інших планет. Місія використовувала іонний двигун для польоту до Місяця та проведення досліджень на його орбіті. Kaguya: Ця місія була запущена Японським космічним агентством (JAXA) в 2007 році. Метою місії було дослідження геології, магнітного поля та гравітації Місяця, а також пошук води та дослідження екології місячного оточення. Кагуя складалась з орбітального і місячного модулів, які виконували дослідження на орбіті та поверхні Місяця відповідно. Chang'e-3: Ця місія була запущена Китайською Національною Космічною Адміністрацією в 2013 році. Це була перша місія в світі, яка успішно виконала м'яку посадку на Місяць з китайським ровером "Yutu" (Західний заєць). Метою місії було дослідження геології та складу Місяця, а також випробування технологій для майбутніх місій з пілотами. Chandrayaan-2: ця місія була запущена Індійською Космічною Агенцією в 2019 році. Це була друга місія Індії на Місяць після Chandrayaan-1, яка відбулась в 2008 році. Метою місії було проведення досліджень Місяця з точки зору його геології, складу та розподілу води на поверхні та в глибинах. Місія також включала модуль для м'якої посадки та ровера, які мали провести дослідження на поверхні Місяця. Chang'e-5: ця місія, запущена Китайською

Національною Космічною Адміністрацією в 2020 році, мала на меті збір зразків Місячного ґрунту та його повернення на Землю для подальшого дослідження. Місія проводила дослідження Місяця з точки зору його складу та розподілу корисних ресурсів, таких як гелій-3 та титан.

Місяць пропонує багатство ресурсів, які можуть підживлювати навколомісячну і місячну промислову інфраструктуру. Серед них можна виділити: сонячна енергія, ядерна енергетика, місячний реголіт, вода, водень, алюміній, кальцій, титан, гелій-3, платина, вуглець, азот, кремній, хром, залізо, магній, натрій, кисень та калій. Дослідження в рамках Експерименту зі складу місячної атмосфери (LACE) Аполлона-17 показують, що місячна екзосфера містить слідові кількості водню (H_2), гелію (He), аргону (Ar) і, можливо, аміаку (NH_3), вуглекислого газу (CO_2) і метан (CH_4). Велика кількість цих ресурсів є стратегічно важлива в космонавтиці та ракетобудуванні, а деякі стануть основою для створення постійної місячної інфраструктури.

Оптична зйомка є одним з найбільш поширених методів для пошуку корисних копалин на Місяці. Це пов'язано з тим, що оптичні камери можуть знімати зображення поверхні Місяця з високою роздільною здатністю, що дозволяє детально вивчити геологію та склад місячної поверхні. Наприклад, на борту супутників Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) та Kaguya були встановлені оптичні камери, які здійснювали зйомку Місяця з високою роздільною здатністю. Крім того, місія Chang'e-5, запущена Китайською Національною Космічною Адміністрацією, використовувала оптичну камеру для визначення місць дослідження та взяття зразків. Оптична зйомка може допомогти виявити ознаки присутності корисних копалин, таких як метали, мінерали, газу та воду, на місячній поверхні. Зокрема, зміни у складі та кольорі поверхні Місяця можуть вказувати на наявність певних корисних копалин. Такі дані можуть допомогти в подальшому плануванні та проведенні місій на Місяць, включаючи видобуток та використання ресурсів.

Запропоновано створити систему дослідження Місяця, що складається із сегменту управління прийому та обробки корисної інформації і орбітального сегменту супутників CubeSat оптичного типу.

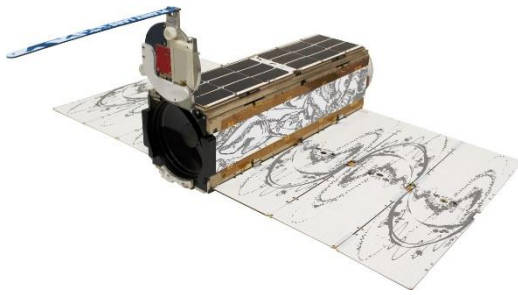


Супутники CubeSat необхідні для того, щоб робити знімки поверхні місяця в оптичному діапазоні. Вони можуть бути розташовані на круговій орбіті висотою 50 або 100 км від поверхні Місяця.

В якості прототипу може слугувати супутник Dove від компанії Planet Labs. Даний апарат може забезпечити роздільну здатність 38,9 см на орбіті висоті 50 км та 77,9 см на орбіті висоті 100 км.

Сегмент управління з двох посадкових модулів і п'яти супутників CubeSat на кожному із них, будуть запущені в одному комплексі. Це означає, що вони будуть знаходитися разом на борту ракети-носія. Прикріплення супутників CubeSat до посадкового модуля забезпечує їхню спільну мету - вийти на сонячну синхронну навколомісячну орбіту та початок руху в напрямку полюс-полюс навколо Місяця.

Коли комплекс буде доставлений на орбіту Місяця, посадковий модуль зі супутниками CubeSat буде відокремлений від ракети-носія. Після відокремлення, комплекс зробить кілька обертів по сонячній синхронній навколомісячній орбіті, щоб здійснити огляд поверхні Місяця та вибрати місце для посадки. Після вибору місця для посадки, посадкові модулі відділять від себе апарати, що прикріплені до них, і сядуть в районі північного та південного полюса. Після посадки і того, як піл осяде, буде здійснене розгортання всього апарату. Також будуть розгорнуті спеціальні антени для забезпечення зв'язку із Землею та угрупованням супутників CubeSat. Ці процедури будуть допомагати забезпечити правильну роботу комплексу та забезпечити їх функціонування на Місяці.



Супутники CubeSat - це невеликі космічні апарати масою до 6 кг (5,8 кг), що будуть здійснювати картографування поверхні Місяця. Кожен супутник оснащений камерою з високою роздільною здатністю, яка може знімати зображення з висоти близько 50-100 км над поверхнею.

Однією з ключових переваг CubeSat є їх низька вартість.

Порівняно з більшими супутниками, виготовлення, запуск та експлуатація CubeSat є досить дешевими. Операційна система супутників може бути налаштована як на автоматичний так і на програмований збір даних. Кожен супутник відправляє зібрані дані на найближчий посадковий модуль, що знаходиться на полюсі, через передавач, який використовує X та S діапазони. Корисне навантаження на місячних супутниках CubeSat також може включати камери з високою роздільною здатністю, сенсори для вимірювання магнітного поля та радіації, а також пристрої для дослідження складу ґрунту та корисних копалин. За допомогою цих пристроїв можна досліджувати склад поверхні Місяця та досліджувати можливості використання його ресурсів для майбутніх місій на Місяці. До стандартного обладнання супутника Dove, пропонуємо додати ключовий інструмент для пошуку води, який називається рефлектометр з чотирма лазерами. Даний інструмент використала компанія Nasa для пошуку води на Місяці за допомогою місячного зонду Lunar Flashlight.

Нами пророблена тема проєкту який передбачає розташування на полюсах Місяця двох посадкових модулів [1]. Автономний модуль обладнаний приймально-передавальною офсетною антеною великого діаметру (8 м, 16 м або 24 м), яка забезпечує зв'язок в частотних діапазонах L та S. На сьогодні добре відпрацьована технологія проектування та виготовлення антен великого розміру, які використовуються у складі геостационарних супутників типу Inmarsat-4, Inmarsat-6, Thuraya [2]. Опромінювач антени встановлений на відкидну мачту і обладнаний механічним приводом для відстеження зміни місця розташування антени на поверхні Землі. Даний модуль забезпечує стабільне функціонування інфокомунікаційної системи Місяць-Земля. На посадкових модулях, які знаходяться на північному та південному полюсах Місяця, також встановлені антени, які забезпечують зв'язок зі супутниками CubeSat. Основною задачею штучного інтелекту на борту модуля буде обробка знімків, що отримані від супутників, та формування траєкторії на наступний виток. Використання глибинного навчання та нейронних мереж, дозволяє отримувати більш точні та деталізовані зображення поверхні супутника. Оскільки зв'язок з Місяця на Землю може бути затриманий через відстань, то штучний інтелект може бути використаний для обробки даних з супутників, щоб зменшити їх обсяг, а також забезпечити якіснішу передачу даних.

У запропонованому модулі передачі будуть використовуватись дві цифрові антенні решітки (ЦАР) з різними діапазонами, розташовані на протилежних сторонах оболонки модуля. Після приземлення решітки будуть притиснуті до корпусу за допомогою механічних кронштейнів та розкриються під кутом 90° відносно модуля. Кожна ЦАР має саморегульовану кріпильну конструкцію, що дозволяє регулювати кут нахилу по осях X та Y для стабільного прийому сигналу. Перша ЦАР буде працювати в L діапазоні на частоті 2.1 ГГц для прийому телеметричної інформації від супутників. Друга ЦАР буде працювати в діапазоні X на частоті 7-8 ГГц та призначена для передачі інформації на борт супутника для підтримки роботи штучного інтелекту, обробки та забезпечення необхідної інформації.

Таблиця 1. Кількість елементів в залежності від ширини ДН.

Ширини ДН (°)	2.1 ГГц	7-8 ГГц
5	6	7
3	10	11
1	29	31

Так як решітка буде квадратної форми, то в залежності від того яка буде ширина діаграми направленості (ДН) буде залежати кількість елементів в цій решітці. Таблиця 1 містить розрахунки кількості елементів в залежності від ширини ДН для двох діапазонів S та X при відстані між елементами, рівній половині довжини хвилі.

Таблиця.2. Результати розрахунку тривалості сеансу зв'язку.

Показник	h = 50 км		h = 100 км	
Роздільна здатність супутника CubeSat	38.9 см		77.9 см	
Перша космічна швидкість	1.6795095 км/с		1.67948534425 км/с	
Орбітальний період (T)	6782.251 с		7068.818 с	
Кут місця супутника (β)	+10°	+15°	+10°	+15°
Кут між початком і закінченням сеансу зв'язку (2 φ)	6.775°	5.12°	11.347°	9.017°
Тривалість сеансу зв'язку	255.276 с	192.917 с	445.61 с	354.109 с

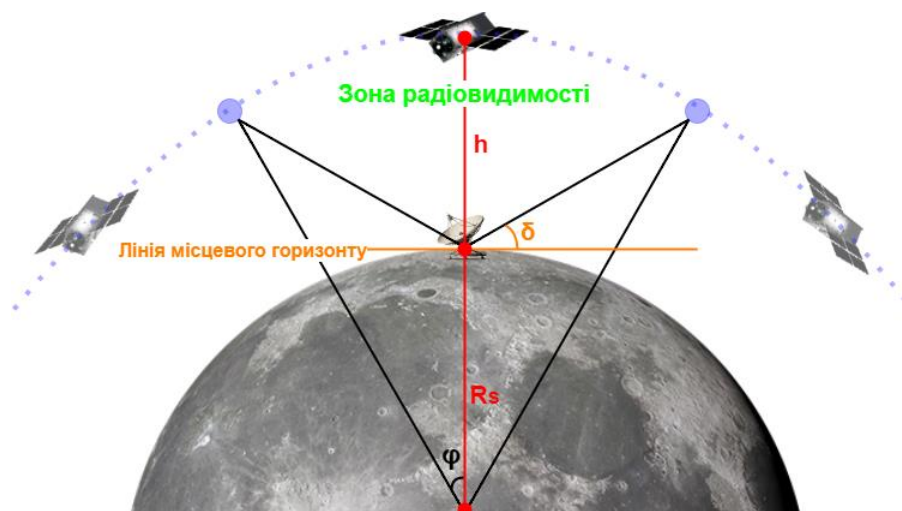


Рис. 1. Розрахунок тривалості сеансу зв'язку.

Висновки.

1. Дослідження поверхні Місяця є однією з найбільш актуальних тем в космічній галузі, оскільки це може допомогти в розвитку наукових знань про космос та покращенні космічних технологій. Для здійснення такого дослідження запропоновано використовувати космічні апарати типу CubeSat, які є невеликими та компактними. Використання таких апаратів дозволяє знизити витрати та ризики, пов'язані зі здійсненням космічних місій, та відкриває нові можливості для наукових досліджень.

2. В цій роботі для ефективного та оперативного управління космічними апаратами типу CubeSat запропоновано використовувати керування з поверхні Місяця. Такий підхід дозволить зменшити затримки при передачі сигналів, що виникають через велику відстань між космічним апаратом та Землею.

3. Запропоновано розмістити на поверхні Місяця посадковий модуль, який буде мати високотехнологічне обладнання для управління та забезпечення стабільної роботи інфокомунікаційної системи Місяць-Земля. Цей модуль забезпечить необхідний рівень зв'язку та передачі даних між Землею та Місяцем, що буде корисним для проведення наукових досліджень та діяльності у галузі космічних технологій..

4. Запропоновано конструктивно-компонувальне рішення для даного модуля яке дає зрозуміти де можна розташувати цифрові антенні решітки.

Література

1. Ільченко, М. Ю. ., Вигівський, М. С. ., Наритник, Т. М. ., & Капштик, С. В. . (2022). ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ МІСІЙ З ВИВЧЕННЯ ТА ОСВОЄННЯ МІСЯЦЯ. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ», 34–38. вилучено із <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/255174>
2. Inmarsat-6 F1, 2 (GX 6A, 6B) / Електронний ресурс. Режим доступу: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/inmarsat-6.htm