УДК 629.785.08:523.3
DOI:10.62717/3083-7057-2026-1-051

Пустовгаров А.А.,
Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»
ORCID 0009-0007-5456-2972
E-mail: info@yuzhnoye.com

Осіновий Г.Г.,
Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»
ORCID 0000-0002-5546-8802
E-mail: info@yuzhnoye.com

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНИХ КУТІВ НАХИЛУ ЗЛІТНО-ПОСАДОЧНИХ ПЛОЩАДОК КОСМОДРОМУ МІСЯЧНОЇ БАЗИ

Анотація. Описано вплив рельєфу поверхні Місяця на побудову космодрому місячної бази та його основних елементів – злітно-посадочних площадок. Показано, в яких межах можна припустити відхилення поверхні площадок від горизонту. Наведено результати розрахунків.
Ключові слова. Злітно-посадочна площадка, кут нахилу, космодром місячної бази.

A. Pustovharov,
Yuzhnoye State Design Office
ORCID 0009-0007-5456-2972
E-mail: info@yuzhnoye.com

H. Osinovyj,
Yuzhnoye State Design Office
ORCID 0000-0002-5546-8802
E-mail: info@yuzhnoye.com

DETERMINATION OF MAXIMUM ANGLES OF INCLINATION OF THE TAKEOFF AND LANDING PADS OF THE MOON BASE SPACEPORT

Abstract. The influence of the Moon's surface relief on the construction of a moon base spaceport and its main elements – takeoff and landing pads – is described. The permissible limits for surface deviations from the horizontal plane are shown. Calculation results are provided.
Keywords. Takeoff and landing pads, angle of inclination, moon base spaceport.

Створення на поверхні Місяця постійно діючих баз – необхідний крок в процесі вивчення та дослідження Місяця, який дозволить в майбутньому здійснити колонізацію природного супутника Землі.

Обов'язковою умовою як для побудови місячних баз, так і для їх функціонування є сполучення з Землею за допомогою космічних кораблів різного призначення. Тому інфраструктура будь-якої бази буде містити в собі космодром – комплекс об'єктів, що забезпечуватиме експлуатацію космічних кораблів. Одними з найважливіших елементів космодрому будуть злітно-посадочні площадки.

Побудова місячного космодрому вимагатиме великих технічних зусиль, оскільки своєрідні природні умови на Місяці дуже несприятливі для проведення будівельних робіт. З іншого боку, необхідно забезпечити правильне розміщення злітно-посадочних площадок. Щоб уникнути зайвих або нераціональних витрат часу, енергії та ресурсу інженерної техніки, потрібно буде зменшити об'єми ґрунтових робіт. Один з напрямів раціоналізації – визначення таких кутів нахилу елементів рельєфу місячної поверхні, при яких можна припустити створення злітно-посадочних площадок без попереднього вирівнювання.

Правильне просторове положення космічного корабля на злітно-посадочній площадці має значення на всіх етапах перебування – для зняття вантажів або їх встановлення (доступ до корабля, робота з кріпленнями вантажів), для обслуговування (заміна тих чи інших елементів конструкції), для заправки (стикування заправних магістралей).

Таким чином постане питання про визначення граничного кута нахилу злітно-посадочних площадок на місячній поверхні. Метою проведених робіт і стали оцінки спеціалістами ДП «КБ «Південне»» поведінки космічного корабля під час посадки від моменту контакту з поверхнею площадки до повної зупинки з визначенням остаточного просторового положення.

Подібні оцінки з використанням різноманітних комп'ютерних програм проводяться спеціалістами в різних країнах світу як ретроспективно (наприклад, на сучасному рівні наново обчислено всі етапи американської місії Apollo-11), так і для сучасних та майбутніх експедицій на Місяць, а також місій автоматичних міжпланетних станцій до зовнішніх планет (наприклад, проведено розрахунки посадки на супутник Сатурну Енцелад). Для цього використовуються такі програми, як Wolfram Research Mathematica, PTC MathCAD тощо. Особливістю цих програм є необхідність написання алгоритмів розрахунків, що вимагає значних витрат часу (хоча сам процес обчислення відбувається достатньо швидко).

В рамках даної роботи було використано Ansys Mechanical Rigid Body Dynamics – програмний модуль для проведення кінематико-динамічного аналізу механічних систем. Він дозволяє без написання алгоритмів робити попередні оцінки стану систем з розрахунками сил реакції опор, швидкостей та прискорень, просторових положень тіл з урахуванням гравітації, пружин та

демпферів. При цьому забезпечуються розрахунки шарнірів, поступальних та обертових рухів.

В результаті проведених робіт було:

— обрано типовий космічний корабель з попередніх розробок ДП «КБ «Південне»» в рамках проєкту місячної бази;
— сформовано геометричні характеристики злітно-посадочних площадок;
— визначено граничні та початкові умови, що описують розміщення площадок на поверхні Місяця та процес посадки;
— проведено обчислення процесу посадки космічного корабля;
— одержано чисельні залежності, що характеризують вплив кутів нахилу площадок на стан космічного корабля після посадки;
— сформульовано висновки щодо граничних кутів нахилу площадок.

Результати роботи можуть бути використані для подальших розрахунків, наприклад, на міцність, проведення модального аналізу тощо.

В доповіді показано, що ДП «КБ «Південне»» проєктує елементи місячної бази та її космодрому, використовуючи сучасні методи для оптимізації їхніх параметрів та характеристик. Це дозволяє проводити роботи на більш якісному рівні.

Бібліографічні посилання

1. Пустовгаров А. А., Гусарова І. О., Козіс К. В., Лисенко Я. А., Осіновий Г. Г. Особливості створення космодрому місячної бази. *Космічна техніка. Ракетне озброєння. Space Technology. Missile Armaments*. 2025. № 2 (123). С. 71 – 78. DOI: 10.33136/stma2025.02.071
2. Marian Mureşan. Soft Landing on the Moon with Mathematica. The Mathematica Journal, 2012. № 14. DOI:10.3888/tmj.14–13.
3. George A. Zupp. An Analysis and a Historical Review of the Apollo Program Lunar Module Touchdown Dynamics. NASA/SP-2013-605. 98 p.
4. Melodie Yashar. ICON’s Project Olympus: Lunar Landing Pad Concept Design. URL: https://www.melodieyashar.com/lunar-landing-pad.html (дата звертання 21.09.2025).