

УДК 629.788

Вероятностный подход к расчету динамики процесса мягкой посадки лунного взлетно-посадочного комплекса

Бычков Роман Сергеевич^(*)

roman.bychkov1@rsce.ru

Борзых Сергей Васильевич

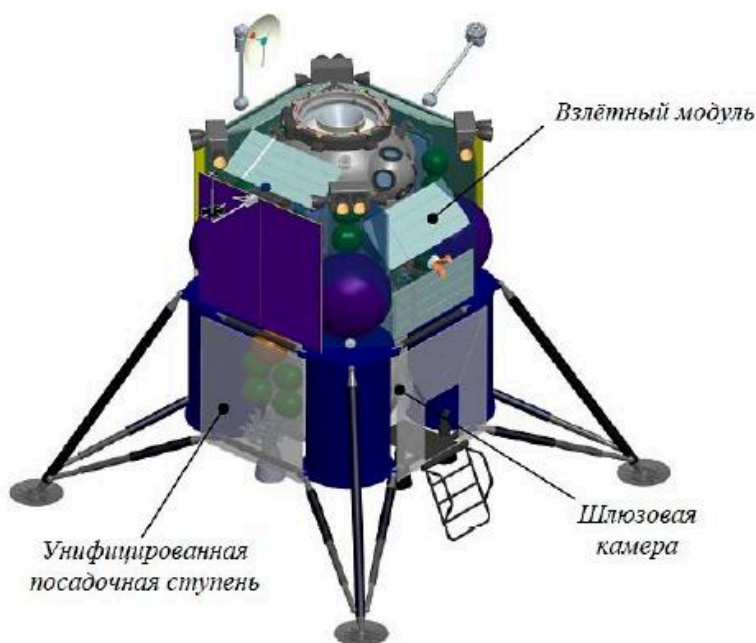
sergey.borzykh@rsce.ru

ПАО «РКК «Энергия», Королев, Московская обл., Россия

Аннотация. Предложен подход к математическому моделированию процесса мягкой посадки лунного взлетно-посадочного комплекса (ЛВПК) от момента первого контакта с лунной поверхностью до полной остановки. Показаны ограниченные возможности наземной экспериментальной отработки, что диктует использование методов математического моделирования. Описаны критерии успешности процесса посадки. Оценены факторы, влияющие на успешность посадки. Получены вероятностные характеристики ключевых параметров процесса посадки.

Ключевые слова: лунный взлетно-посадочный комплекс, динамика посадки, математическое моделирование, посадочное устройство, статистический анализ

Введение. Конечная фаза процесса посадки ЛВПК — движение аппарата после первого контакта его посадочного устройства с лунным грунтом до полной остановки — одна из наиболее критичных фаз всей миссии. В момент первого контакта ЛВПК обладает существенной остаточной кинетической энергией, которая гасится в процессе взаимодействия с грунтом тарелей опор посадочного устройства (ПУ) ЛВПК и обжатия энергопоглощающих элементов, входящих в состав опор (см. рисунок).



Общий вид ЛВПК

В силу особенностей этого процесса комплексная наземная отработка, при которой в полной мере воспроизводились бы реальные условия, практически невозможна [1]. Отрабатываются лишь отдельные элементы опор ПУ, например, экспериментально определяются реальные характеристики энергопоглотителей, отрабатывается надежность механизма взведения опор и др. [2]. Поэтому на этапе проектного анализа для определения ключевых параметров ПУ используется математическое моделирование динамики мягкой посадки.

Материалы и методы; результаты. Разработке моделей процесса мягкой посадки аппаратов с механическим посадочным устройством, в частности, ЛВПК, посвящен ряд работ авторов, например [3,4]. Успешность процесса посадки оценивается условием выполнения ряда ключевых требований: ограничением предельной перегрузки, обеспечением устойчивости, достаточностью располагаемого хода обжатия энергопоглотителей, исключением контакта с поверхностью самого корпуса аппарата. Для каждого расчетного варианта с учетом законов распределения начальных условий (углов ориентации аппарата, вертикальной и боковой скорости центра масс, угловой скорости); собственных характеристик ЛВПК (массы, моментов инерции, эксцентриситета) создается массив исходных данных с использованием метода Монте-Карло. В течение всего процесса контролируется выполнение условий успешности процесса посадки. Итогом статистического анализа являются плотности распределения вероятностей ключевых параметров процесса — максимального хода энергопоглотителей, минимального клиренса, угловых скоростей ЛВПК, скоростей центра масс и некоторых других.

Закключение. Таким образом, в данной работе рассмотрен подход к статистическому исследованию успешности процесса посадки ЛВПК. Указана определяющая роль математического моделирования для рационального выбора энергетических параметров ПУ ЛВПК в рамках проектного анализа.

Список источников

- [1] Филин В.М. *Воспоминания о лунном корабле*. Москва, Культура, 1992, 78 с.
- [2] Борzych С.В., Бычков Р.С., Терешина К.В. Анализ возможностей и ограничений наземной экспериментальной отработки процессов трансформации ракетно-космических конструкций. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2022, № 5, с. 102–107.
- [3] Бакулин В.Н., Бычков Р.С., Борzych С.В. Динамика процесса мягкой посадки космического аппарата с трансформируемым механическим посадочным устройством. *XIII Всерос. съезд по теоретической и прикладной механике: сб. тез.* Санкт-Петербург, ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023, т. 1, с. 532–533.
- [4] Борzych С.В., Воронин В.В. Динамика взаимодействия трансформируемого механического посадочного устройства возвращаемого космического аппарата с поверхностью. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2012, спецвыпуск, с. 69–79.