

Движение возвращаемой ступени многоразовой ракеты-носителя сверхлегкого класса на траектории спуска

К.В. Лязин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия

Обоснование. Повторное использование составных частей ракет космического назначения является одним из направлений снижения стоимости выведения полезного груза на орбиту. Возможность этого подтверждена успешным опытом эксплуатации компанией SpaceX РН Falcon-9. Использование ракеты-носителя (РН) с возвращаемой первой ступенью позволяет снизить экологические последствия ее эксплуатации, поскольку исключается необходимость выделения зон падения для первых ступеней, их фрагментов и остатков компонентов топлива. Повторное использование первой ступени актуально и для РН сверхлегкого класса. Учитывая небольшую массу и габариты, для этого типа РН более эффективным может быть использование парашютной системы для торможения вместо ракетно-динамической схемы, применяемой при возвращении ступени РН Falcon-9 [1]. Использование парашюта целесообразно и для одноразовой первой ступени РН, поскольку введение стабилизирующего парашюта позволит сократить площадь района падения ступени за счет более организованного и прогнозируемого ее движения и снижения риска ее разрушения с образованием большого количества фрагментов.

Цель — сравнительный анализ движения одноразовой первой ступени РН и ступени, оснащенной стабилизирующим и тормозным парашютом, связанным с ней упругим тросом длиной несколько десятков метров, для подтверждения возможности стабилизации движения ступени и обеспечения условий ее подхвата вертолетом для возможности повторного использования.

Методы. Анализ движения проводится в среде динамического моделирования SimInTech (Simulation In Technic) на основе уравнений движения центра масс ступени [2] и ее плоского движения вокруг центра масс с учетом прикрепленного на тросе парашюта. Анализ возможности разрушения ступени на траектории спуска производится путем сравнения максимального значения произведения скоростного напора на угол атаки ступени определяющего максимальный уровень поперечных аэродинамических сил, действующих на корпус ступени, с некоторым предельным значением, определяемым прочностью конструкции ступени.

Результаты. Разработаны математические и компьютерные модели движения отработавшей первой ступени РН сверхлегкого класса без парашютной системы и движения системы ступень–трос–парашют. При отсутствии стабилизирующего парашюта ступень РН движется в плотных слоях атмосферы при ненулевом балансирующем угле атаки, определяемом аэродинамическими характеристиками ступени и положением ее центра масс, что при прохождении участка с максимальным скоростным напором может привести к разрушению ступени: произведение угла атаки на скоростной напор превышает предельно допустимое почти в 7 раз. Введение стабилизирующего парашюта на тросовой связи обеспечивает снижение угла атаки до значений, близких к нулю, при этом произведение угла атаки на скоростной напор становится на несколько порядков меньше предельно допустимого значения, что снижает риск разрушения ступени. Введение тормозного парашюта позволяет снизить скорость движения ступени, обеспечивая возможность подхвата ее вертолетом для возможности повторного использования.

Выводы. Введение стабилизирующего парашюта приводит к снижению угла атаки ступени при движении по траектории спуска до значений, близких к нулю, и уменьшению величины максимального скоростного напора, что приводит к снижению аэродинамических нагрузок на ступень и снижению риска разрушения ступени при входе в плотные слои атмосферы. Использование стабилизирующего и тормозного парашютов позволяет создать условия для подхвата ступени вертолетом для возможности ее повторного использования. При введении стабилизирующего парашюта более чем в два раза увеличивается продолжительность спуска ступени в сравнении с движением ступени без парашюта, что при воздействии ветра может привести к смещению точки приземления ступени. Для анализа влияния ветра на движение ступени необходимо проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова: ракета-носитель; отработавшая ступень; зона падения; стабилизирующий парашют; трос; угол атаки.

Список литературы

1. Кузнецов Ю.Л., Украинцев Д.С. Анализ влияния схемы полета ступени с ракетно-динамической системой спасения на энергетические характеристики двухступенчатой ракеты-носителя среднего класса // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. № 1. С. 73–80.
2. Ярошевский В.А. Вход в атмосферу космических летательных аппаратов. Москва: Наука, 1988. 335 с.

Сведения об авторе:

Кирилл Владимирович Лязин — студент, группа 1305, институт авиационной и ракетно-космической техники; Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия. E-mail: koala2019@bk.ru