

УДК 629.785

Обзор технологий, использующих надувные тормозные устройства, для выполнения посадки спускаемого аппарата

*Неклюдова Е. С., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»*

*Научный руководитель: Корянов В.В., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»
kafsm3@bmstu.ru*

Одной из наиболее сложных и ответственных операций, является спуск в атмосфере и посадка аппаратов на поверхность планет. Надувные тормозные устройства можно отнести к системам аэродинамического торможения орбитальных космических аппаратов в атмосфере планет и посадки на поверхности планет без применения реактивных систем торможения.

Надувное тормозное устройство представляет собой замкнутую герметичную оболочку или ряд оболочек, образующих заданную форму после заполнения их газом (рис. 1,2).

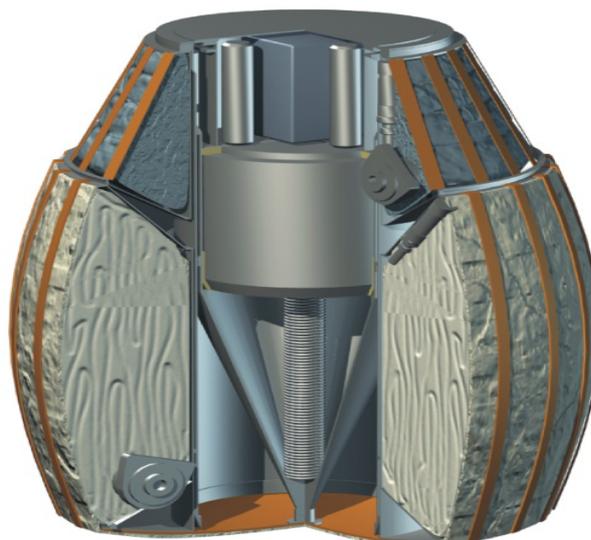


Рис. 1. НТУ в сложенном состоянии

Эта оболочка состыковывается с предназначенным для спуска в атмосфере

объектом.

При старте НТУ находится под обтекателем ракетносителя в сложенном в компактный объём положении (см.рис.1), а перед этапом аэродинамического торможения, разворачивается в рабочее положение (см.рис. 2,а). Также НТУ может быть выполнено двухкаскадным (см.рис.2,б). Первый каскад – это основное НТУ с теплозащитным покрытием, которое служит для уменьшения скорости входа в атмосферу до дозвуковой, второй каскад – это дополнительно НТУ (ДНТУ), которое раскрывается в атмосфере для обеспечения посадочной скорости заданной величины.



Рис. 2. Спускаемый аппарат с двухкаскадным надувным тормозным устройством:

- а) развёрнут первый каскад НТУ (основное НТУ);
- б) развёрнут второй каскад НТУ (дополнительное НТУ)

Такое НТУ может быть использовано для решения ряда задач, например:

- для возврата и спасения последних ступеней и разгонных блоков РН после выполнения ими своих функций;
- для возврата с орбит спутников с ценным оборудованием и исследовательских лабораторий с накопленной научной информацией после выполнения программы их полета;
- для захвата и спуска на Землю спутников или орбитальных станций, отработавших ресурс, что позволяет решить проблему очистки околоземного пространства от техногенного «космического мусора»;
- для более дешевой доставки грузов с пилотируемых орбитальных станций на земную поверхность;
- для экстренной доставки с обитаемой околоземной станции экипажа или любого из космонавтов в чрезвычайных ситуациях без использования транспортного космического корабля.

Ниже представлен перечень основных систем и элементов, обеспечивающих функционирование СА с НТУ:

- контейнер жесткой конструкции для размещения груза, командной бортовой аппаратуры, научных приборов, элементов контрольно-измерительной системы и др.;
- надувная герметичная оболочка (оболочки), формирующая НТУ;
- система удержания НТУ от несанкционированного развертывания из уложенного в компактный объем положения;
- пиротехнические и механические элементы для введения в действие функциональных команд;
- система наддува НТУ, включающая источник газа высокого давления, запорную и газораспределительную арматуру, элементы измерительной системы для контроля параметров газовой среды в оболочке НТУ и температуры конструкции СА;
- система дополнительного силового подкрепления герметичной оболочки НТУ;
- система тепловой защиты внешней поверхности СА с НТУ;
- система крепления НТУ и тепловой защиты к жесткому контейнеру;
- система амортизации нагрузки при посадке СА с НТУ на поверхность планеты;
- устройство разгерметизации оболочки НТУ после посадки.

В случаях использования НТУ для спуска крупногабаритных и тяжеловесных грузов, например пилотируемых посадочных модулей на поверхность планеты, необходимы дополнительные системы их крепления на НТУ. Пример одной из таких систем в виде тросов приведен на рис.3.

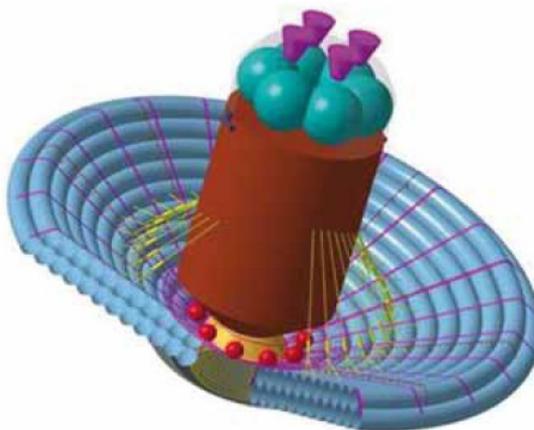


Рис. 3. СА с НТУ с дополнительным тросовым креплением грузового отсека на НТУ

К настоящему времени существует несколько проектов, которые основаны на использовании технологии НТУ. Одним из таких проектов являются MetNet

(Meteorological Network) – разработка малой метеорологической станции (ММС) для посадки на поверхность Марса.

Малая метеорологическая станция предназначена для посадки на поверхность Марса с целью проведения мониторинга состояния атмосферы в точке посадки в течение одного марсианского года. Предположительно, ММС может стать базовым элементом глобальной сети долгоживущих мини-метеостанций, которая позволит наблюдать за динамикой изменения параметров атмосферы Марса в течение длительного времени.

ММС является спускаемым аппаратом, выполненным с использованием технологии надувных тормозных устройств. На участках траектории с разреженной атмосферой ММС работает с наполненным основным надувным тормозным устройством (ОНТУ). При дозвуковых скоростях задействуется дополнительное надувное тормозное устройство (ДНТУ) и происходит отделение аэродинамического экрана. Схема спуска аппарата с НТУ в атмосфере приведена на рис.4.

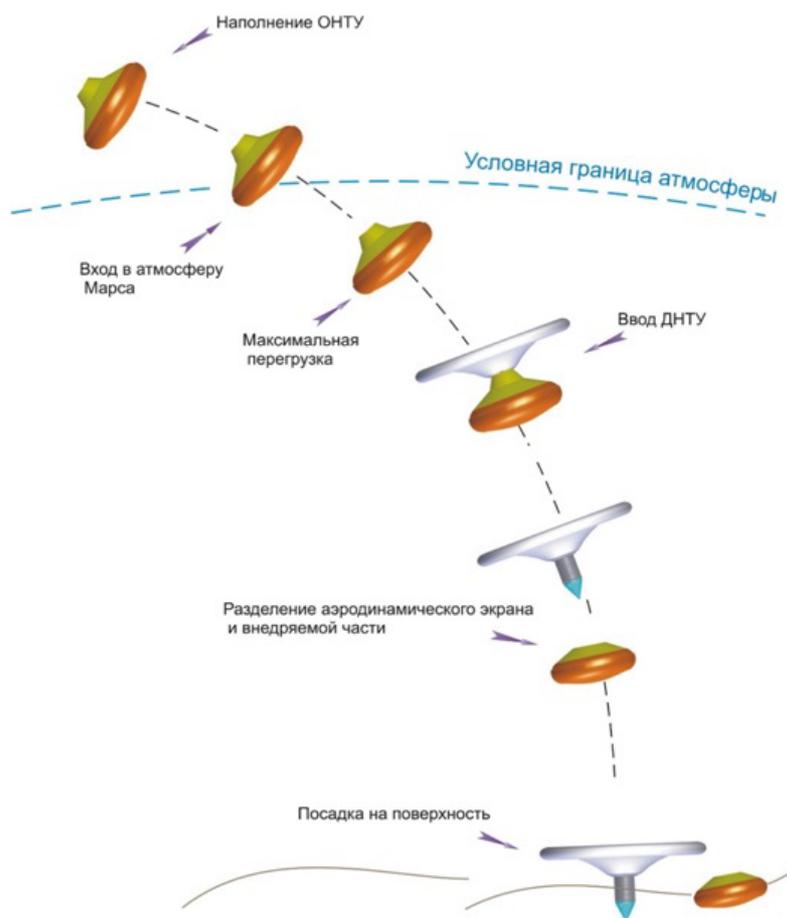


Рис. 4. Схема спуска аппарата в атмосфере

Процесс спуска аппарата в атмосфере можно условно разбить на два участка: участок аэродинамического торможения и участок предпосадочного торможения.

На первом участке торможение аппарата осуществляется при помощи основного надувного тормозного устройства конической формы (см.рис.2). На этом участке происходит основное снижение скорости аппарата до дозвуковой в конце участка. При этом аппарат подвергается воздействию значительной продольной перегрузки и скоростного напора и высокой тепловой нагрузке.

Участок предпосадочного торможения начинается с момента ввода дополнительного НТУ и заканчивается посадкой аппарата на поверхность (рис.4). На этом участке осуществляется окончательное торможение аппарата до посадочной скорости.

Анализ углового движения СА под влиянием ветра

В процессе движения в атмосфере планеты СА с НТУ подвергаются значительным аэродинамическим нагрузкам, которые могут привести к изменению формы нежесткой оболочки НТУ и возникновению текущих асимметрий СА с НТУ.

Проводится анализ влияния ветра на динамику углового движения СА с дополнительным надувным тормозным устройством (ДНТУ) на конечном участке траектории.

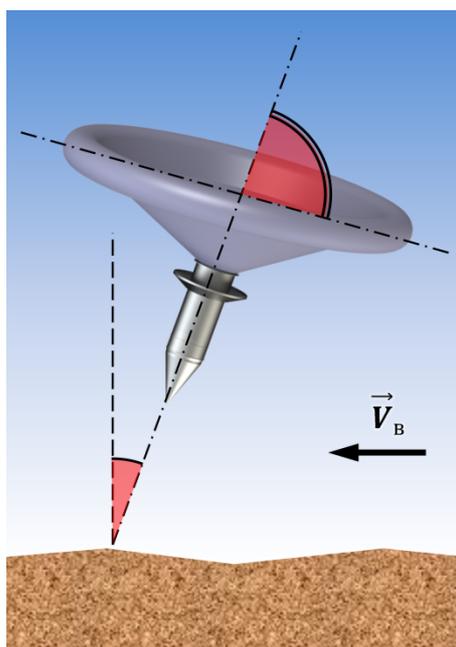


Рис. 5. Общее представление о приземляющемся СА с развернутым НТУ

На конечном участке траектории СА движется практически вертикально к поверхности планеты. При этом пространственный угол атаки имеет величину порядка двух градусов.

Рассмотрим дополнительное влияние горизонтального ветра на динамику углового

движения СА. Для примера возьмем продольный горизонтальный ветер со скоростью шесть метров в секунду, действующий на последних пятистах метрах до посадки на поверхность планеты.

На рис.6. представлена картина углового движения продольной оси СА относительно вектора скорости при отсутствии дополнительных асимметрий. Из рис.6. видно, что центр колебательного движения СА относительно вектора скорости смещен примерно на 5,5 градусов. Это соответствует среднему угловому смещению продольной оси СА относительно вектора скорости при наличии ветра. Таким образом, характер динамики углового движения СА не меняется. Смещается только центр колебательного движения СА.

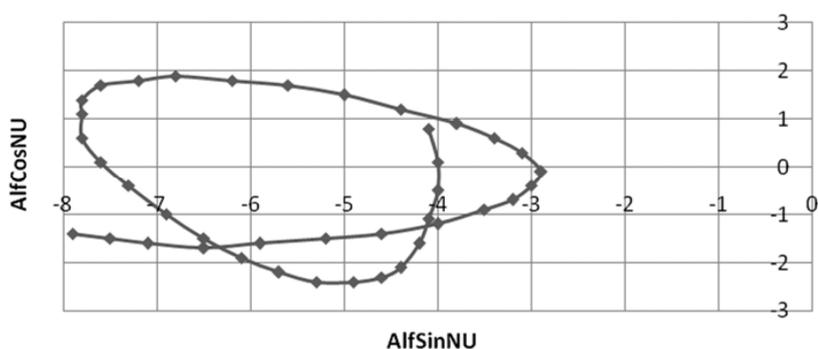


Рис. 6. Угловое движение продольной оси СА относительно вектора скорости в отсутствие дополнительных асимметрий

Рассмотрим динамику углового движения СА при тех же условиях, но при наличии дополнительных асимметрий. На рис.7 показана картина углового движения продольной оси СА относительно вектора скорости при наличии дополнительной асимметрии внешней формы ($m_z = 0.004$). Эта асимметрия может быть вызвана не жесткостью ДНТУ.

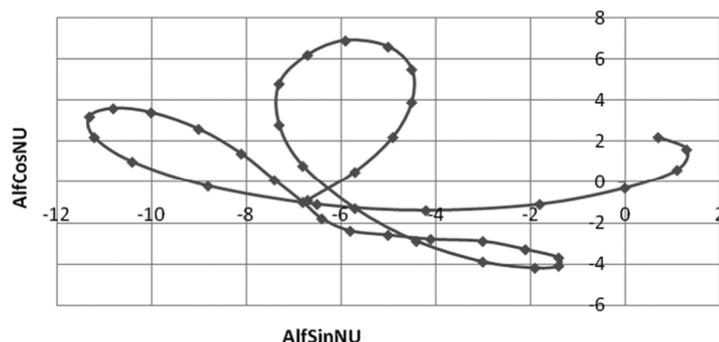


Рис. 7. Угловое движение продольной оси СА относительно вектора скорости в присутствии дополнительной асимметрии внешней формы

Затем считаем динамику углового движения СА при тех же самых условиях, но с меньшей асимметрией вызванной деформацией внешней формы ($m_z=0.002$).

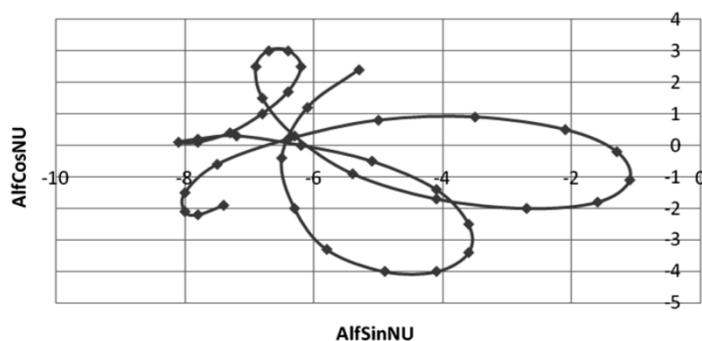


Рис. 8. Угловое движение продольной оси СА относительно вектора скорости в присутствии асимметрии во внешней форме ($m_z = 0.002$)

На рис. 8 показана картина углового движения продольной оси СА относительно вектора скорости при наличии дополнительной асимметрии внешней формы ($m_z = 0.002$).

Заключение

Сравнивая картины углового движения СА, представленные на рис. 6 и рис. 7 видим, что наличие асимметрии, обусловленной деформацией внешней формы, изменяет характер углового движения. Увеличивается величина пространственного угла атаки. Вместо почти кругового движения продольной оси СА относительно вектора скорости появляется петлеобразное движение продольной оси. Почти в три раза увеличиваются боковые отклонения продольной оси от вектора скорости. При этом центр колебаний остается примерно тем же, что и при отсутствии дополнительной асимметрии.

Сравнивая картины углового движения СА, представленные на рис. 8 и рис. 7 видим, что при уменьшении асимметрии, обусловленной деформацией внешней формы, характер углового движения немного изменяется. Уменьшается величина пространственного угла атаки. Уменьшаются отклонения продольной оси от вектора скорости. Но в целом характер углового движения продольной оси СА относительно вектора скорости при наличии дополнительных асимметрий сохраняется.

На основе рассмотренных технологий можно сделать вывод о возможном создании СА с использованием НТУ. Это подтверждается проведенными численными расчетами с использованием математической модели и результатами проведенных экспериментов.

На основе накопленного опыта, в настоящее время созданы СА с НТУ, и в дальнейшем есть перспектива модернизации и использования этих технологий в будущем.

Список литературы

1. Алексашкин С.Н., Пичхадзе К.М., Финченко В.С. Принципы проектирования спускаемых в атмосферах планет аппаратов с надувными тормозными устройствами // Вестник ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». 2012. № 2. Режим доступа: <http://vestnik.laspacespace.ru/pdf/5-2012.pdf> (дата обращения: 02.03.2013).
2. Space Administration. 2012. Available at: http://www.nasa.gov/offices/oct/home/feature_irve3.html, accessed 05.03.2013.
3. Дерюгин В.А., Пичхадзе К.М., Финченко В.С., Шматов С.И. Оценка возможности безымпulsiveного спуска объектов с орбит ИСЗ на поверхность Земли. Российская академия космонавтики им. К.Э. Циолковского, НПО им. С.А.Лавочкина // Сборник научных трудов. М.: БлокИнформЭкспресс, 2000. Вып. 2. С. 9-11.
4. Корянов В.В., Казаковцев В.П. Методы расчета параметров движения спускаемых аппаратов // Естественные и технические науки. 2014. № 9-10 (77). С. 179-184.
5. Ярошевский В.А. Движение неуправляемого тела в атмосфере М.: Машиностроение, 1978. 168с., ил.
6. Иванов М.Н., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2004. 544с.: ил.