

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВОЗВРАЩАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ КАПСУЛ И ИХ ПАРАШЮТНЫХ
СИСТЕМ ПРИ МАЛЫХ ДОЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ ПОЛЕТА В РАМКАХ
МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ YES2 И POLYSPHERES**

Целью данных исследований является обеспечение безопасного приземления возвращаемых космических капсул с применением парашютной системы (ПС) мягкой посадки. Данная публикация является продолжением работ [1], посвященных экспериментальным исследованиям аэродинамики спускаемых капсул проекта YES2.

В результате проведенных исследований вариантов аэродинамических компоновок в качестве окончательной формы спускаемой капсулы проекта YES2 была принята компоновка "сфера". Так как в результате ввода ПС в действие происходит отстрел сегмента "сферы" (крышки отсека ПС), аэродинамические исследования были сосредоточены на изучении компоновок "сфера" и "усеченная сфера". Кроме весовых испытаний в аэродинамической трубе (АДТ-1) Самарского государственного аэрокосмического университета, эксперименты проводились на специальной динамической установке, позволяющей в ходе эксперимента осуществлять запись углов колебания моделей при воздействии нестационарной боковой силы.

Фирма Delta-Utec (Голландия), пересмотрев первоначальную концепцию беспарашютной легкой капсулы, приступила к разработке парашютного варианта. Были поставлены жесткие условия по размещению контейнера с парашютом в отсеке диаметром и высотой 60 мм. На этапе проектирования в ПС были заложены высокая надежность ее работы из любых положений при вводе в действие. В результате были изготовлены два различных купола парашюта. Первый – круглый в раскрыт с полюсным отверстием (Flat circular), второй – вращающийся, круглый в раскрыт, как и первый, но с конструктивными особенностями строения купола в виде 8 радиальных клапанов длиной 2/3 диаметра. В отличие от первого он имеет чуть больший укладочный объем, но лучшую устойчивость при снижении. В отличие от парашюта бесстропной схемы "медуза" (где роль строп выполняет сетка), выбранного Delta-Utec, предложенные схемы обеспечивают меньшие вес, укладочный объем и динамические нагрузки при наполнении купола ПС за счет упорядоченного раскрытия парашюта. Предлагаемая схема ПС показана на рисунке 1.

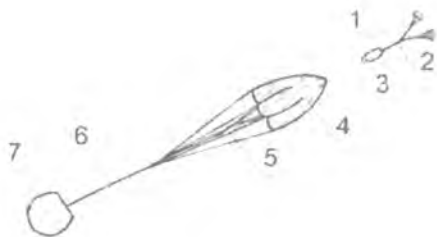


Рис. 1. Схема ПС

На рисунке 1 цифрами обозначены: 1 – вытяжные парашюты; 2 – звено вытяжных парашютов; 3 – камера основного парашюта; 4 – купол основного; 5 – стропы; 6 – промежуточное звено; 7 – капсула.

Предлагаемая схема работы парашютной системы показана на рис. 2.

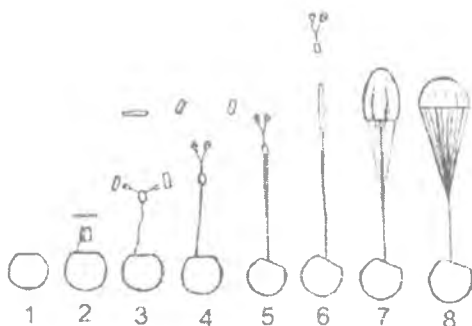


Рис. 2. Схема работы ПС

Капсула снижается без парашюта до высоты 1500...500 метров, на которой срабатывает датчик давления, инициируя взрыв пиропатрона. Под действием давления газов картридж выстреливается из ствола, выбивая крышку. Разворачивается промежуточное звено. Две половинки картриджа раскидываются в стороны под действием пружин вытяжных парашютов. Вытяжные парашюты наполняются, начинают удаляться от капсулы, увлекая за собой камеру основного парашюта. Натягивается и выходит из камеры промежуточное звено. По мере удаления камеры от капсулы натягиваются и выходят из сот стропы купола основного парашюта. Расчековывается донная крышка камеры основного парашюта. Из камеры выходит купол основного парашюта. Камера и вытяжные парашюты отделяются и снижаются отдельно. Купол основного парашюта начинает наполняться и капсула начинает тормозиться. Капсула снижается на полностью наполненном куполе.

С целью исследования этапов раскрытия были проведены эксперименты как в аэродинамической трубе, так и сбросы с небольших высот и летные эксперименты.

В АДТ испытывались стабильность работы купола основного парашюта, эффективность систем рифления и надежность системы ввода парашюта в действие.

Проводились сбросы с небольших высот (максимальная высота 21 м). В одном случае сброс производился с высоты 7 м с принудительным стягиванием камеры с купола. При этом изучалась стабильность наполнения купола парашюта и его пульсации. В другом случае при сбросах с высоты 21 м изучалась быстродействие системы ввода парашюта в действие и определялась скорость снижения с макетом капсулы весом 5,5 кг. С целью определения скорости снижения была изготовлена реперная система, состоящая из двух вертикально натянутых тросиков и горизонтальных лент, натянутых между ними на расстоянии 1,5 м друг от друга. Для фиксации пройденного пути и времени его прохождения, во время сброса производилась стробоскопическая фотосъемка и видеосъемка. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний ПС

Тип парашюта	Flat circular	Вращающийся	Delta-Utec
Площадь купола, м ²	0,9	0,85	1,1
Терминальная скорость снижения, м/с	11	12	15
Коэффициент силы лобового сопротивления	0,8	0,71	0,35

Для летных экспериментов была спроектирована и изготовлена модель капсулы YES2. В модели размещался отсек для парашюта и система его выброса. Задержка в раскрытии обеспечивалась полуавтоматом парашютным комбинированным (ППК) в интервале от 2 до 5 секунд. Так же в капсуле размещалась система изменения положения центра тяжести. Было проведено два летных эксперимента. Первый сброс происходил с высоты 700 м с самолета Ан-2 на скорости 170 км/ч с задержкой в раскрытии 5 секунд. Второй сброс был проведен с высоты 300 м с мотопараплана при околонулевой скорости с задержкой в раскрытии 3 секунды. В обоих экспериментах ПС сработала штатно. Во время снижения были отмечены колебания системы "капсула-парашют" с углами отклонения $\pm 40^\circ$ относительно вертикали.

В рамках перспективного международного проекта "POLYSPHERES" были рассмотрены ПС (рис. 3), обеспечивающие мягкую посадку капсул весом 30 и 100 кг.

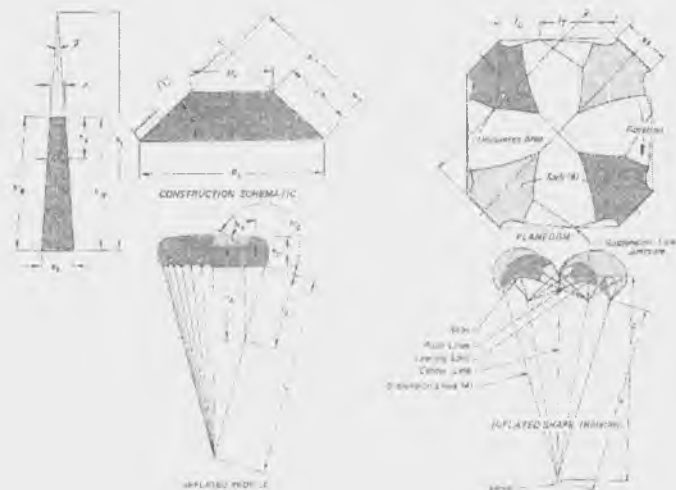


Рис. 3. Схемы парашютов, слева -- Annular, справа – Vortex ring

Были проведены продувки масштабных моделей ПС. Целью эксперимента являлась проверка аэродинамических характеристик: определение коэффициента силы лобового сопротивления и наблюдение за устойчивостью парашюта (таблица 2).

Таблица 2 – Варианты ПС проекта "POLYSPHERES"

Тип парашюта	Flat circular	Annular	Vortex ring
Коэффициент лобового сопротивления, C_x	0,75-0,8	0,95-1	1,5-1,8
Максимальный коэффициент лобового сопротивления при наполнении купола парашюта	1,8	1,4	1,1
Углы колебаний парашюта	$\pm 10^\circ - \pm 40^\circ$	$< \pm 6^\circ$	$\pm 0^\circ - \pm 2^\circ$

По результатам экспериментов парашют Vortex ring обладает хорошей устойчивостью. Коэффициент силы лобового сопротивления составил $C_x = 0,82$, что в два раза меньше, чем расчетный результат. Поэтому требуется дополнительное исследование влияния геометрических параметров на коэффициент силы лобового сопротивления.

Библиографический список

1. Клементьев В.А., Ляскин А.С., Миронов М.В., Щербо Д.В., Чикурин А.А. "Экспериментальные исследования аэродинамики спускаемых капсул проекта YES2". Материалы XXII Всероссийского семинара по управлению движением и навигацией летательных аппаратов, СГАУ, 2006.