

Современный подход к проектированию иностранных десантных парашютных систем

© С.Ю. Плосков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия
АО «НИИ Парашютостроения», Москва, 107241, Россия

Предложено традиционное определение устойчивости парашютной системы дополнить обязательным учетом способности системы сохранять заданную траекторию движения при нейтральном куполе вне зависимости от изменения массы полезной нагрузки. Именно расширенное понятие устойчивости взято за основу современного подхода к проектированию иностранных десантных парашютных систем. Обоснованы основные критерии выбора оптимальной раскройной формы для парашютных систем повышенной устойчивости различных типов на этапе эскизного проектирования. Приведены результаты численного моделирования куполов: четвертьсферического, полусферического, парашюта типа Т-11 и поликонического. На основе анализа этих результатов в работе впервые была предложена гипотеза о том, что уменьшение интенсивности вихреобразования в следе приводит к повышению устойчивости снижения парашютов. Представлены результаты численного моделирования куполов различной формы, а также экспериментальных исследований модельного поликонического парашюта, доказывающие правильность предложенной гипотезы.

Ключевые слова: десантные парашютные системы, парашют повышенной устойчивости, нейтральный купол, масса полезной нагрузки, оптимальная раскройная форма, интенсивность вихреобразования в следе, численное моделирование куполов

Введение. Десантные парашютные системы, как и спортивные парашюты, — наиболее динамично развивающаяся отрасль парашютной техники. Это связано с высокой востребованностью нововведений, применяемых в этих системах и относительной простотой их создания и доводки.

Объект исследования — ряд типовых форм куполов парашютов и современные десантные парашютные системы (ПС) военного назначения зарубежного производства.

Цель настоящей статьи — исследование новых принципов создания парашютов повышенной устойчивости на основе анализа результатов численных и экспериментальных исследований куполов различных форм.

Традиционный подход к проектированию десантных парашютных систем. В [1] представлен обзор иностранных десантных систем военного назначения. Уменьшение скорости вертикального снижения перед приземлением до 5 м/с и менее возможно при обеспечении высокой характеристики сопротивления парашюта (произведение $F_{\text{п}}C_{\text{п}}$).

Увеличение площади купола $F_{\text{п}}$ возможно незначительно, так как она определяет массу парашюта и его укладочный объем. Большой коэффициент сопротивления парашюта $C_{\text{п}}$ обеспечивает малую площадь купола парашюта и, следовательно, его малый вес и объем. Поскольку эти характеристики очень желательны для купола основного парашюта большого диаметра, большой коэффициент сопротивления — решающий фактор при выборе десантного парашюта. Однако не следует забывать о том, что величина коэффициента $C_{\text{п}} > 0,7 \dots 0,8$ характеризует неустойчивые в потоке парашюты. Поэтому особое внимание в статье уделено экспериментальным исследованиям модели парашюта, выполненного из малопроницаемой ткани, с соблюдением геометрических и динамических критериев подобия для такого парашюта.

Обязательные требования при проектировании парашютных систем [2]:

- 1) надежное и управляемое наполнение;
- 2) высокое сопротивление;
- 3) низкие нагрузки при раскрытии;
- 4) высокая устойчивость при снижении;
- 5) простота конструкции и производства;
- 6) простота эксплуатации.

В связи с увеличением полетной массы и применением малопроницаемых тканей принципиальное значение для основных парашютов десантных ПС приобретают третий и четвертый критерии. Именно поэтому были разработаны парашюты энергопоглощающей конструкции, например Т-11 (США), С-400 (Испания) и LLP Mk1 (Великобритания).

В соответствии с традиционным подходом к проектированию десантных ПС [3] ранее были сделаны следующие выводы:

1) для основных парашютов десантных ПС в наибольшей степени всем указанным выше требованиям соответствуют парашюты с формой купола, близкой к полусферической, в конструкции которых приняты специальные меры по повышению устойчивости и уменьшению максимальной нагрузки при наполнении, например различные системы рифления, удлиненная нижняя кромка и др.;

2) для запасных и низковысотных парашютов целесообразно применять четвертьсферическую или производные от нее формы купола с удлиненной нижней кромкой, благодаря чему достигается максимальный коэффициент сопротивления. Перспективным остается применение двухкаскадных куполов основных парашютов и многокупольных парашютных систем (МКС), такие системы характеризуются повышенной устойчивостью при снижении и меньшими нагрузками при наполнении.

Следует отметить, что парашют является устойчивым, если он способен гасить маятниковые колебания при снижении системы груз — парашют. Эта характеристика важна для работы парашютной системы, так

как при раскачке существенно возрастает суммарная скорость встречи полезной нагрузки с поверхностью земли. В качестве меры такой устойчивости ПС обычно используют угол маятниковых колебаний системы на режиме установившегося спуска, который легко определить по данным видеосъемки.

Однако в реальности оценка только такой устойчивости для десантных парашютов не достаточна вследствие того, что не в полной мере может быть выполнена целевая задача системы: обеспечение точной доставки парашютиста на заданную площадку десантирования.

Современный подход к проектированию десантных парашютных систем. Данный подход заключается в том, что при обсуждении устойчивости ПС необходимо обязательно учитывать способность системы сохранять заданную траекторию движения при нейтральном куполе вне зависимости от изменения массы полезной нагрузки. Для десантных систем повышение такого требования для устойчивости при снижении парашютов приводит к существенному увеличению кучности приземления десантников и уменьшению вероятности схождения парашютистов в воздухе. Анализ общедоступных материалов по работе ПС Т-11 (США), С-400 (Испания) и LLP Mk1 (Великобритания) показал, что расширенное понятие устойчивости взято за основу современного подхода к проектированию зарубежных десантных ПС.

В настоящей статье предложена гипотеза об определяющем влиянии особенностей развития вихревого следа за куполом на характеристики устойчивости ПС.

По материалам более ранних численных моделирований было выявлено следующее: форма куполов парашютов должна обеспечивать максимально гладкий вихревой след, а также достаточно высокий коэффициент сопротивления. На этом основании сделан вывод, что купола непосредственно четвертьсферической и полусферической форм применять нельзя. В 2019 г. автором настоящей статьи были проведены экспериментальные исследования парашютов из малопроницаемой ткани с различными вариантами рифления для подтверждения предложенной гипотезы. Результаты летных экспериментов полностью подтвердили правильность выбранной гипотезы. Проведенные исследования доказывают возможность выполнения требования по повышению устойчивости парашютов из малопроницаемых тканей при реализации куполов парашютов со специальной поликонической формой купола.

Выбор направления исследований. В [4] представлены результаты экспериментальных сбросов в условиях спокойной атмосферы, проведенных в 1949 г. в США (рис. 1). Сплошные тканевые парашюты круглой формы или со срезанными углами, плоского или объемного кроя, без принятия специальных мер по обеспечению устойчивости в зависимости от спускаемой массы снижались с сильными колебаниями

или опускались устойчиво без колебаний, но имели углы планирования до 45° , что приводило к получению высокого коэффициента сопротивления по вертикали. Такое поведение парашютов обусловлено нестабильным или наоборот стабильным при планировании, но непредсказуемым положением зон отрыва с их купола. Это характерно для любых парашютов, но для парашютов с высоким коэффициентом сопротивления интенсивность вихреобразования существенно выше, поэтому данный эффект проявляется сильнее.

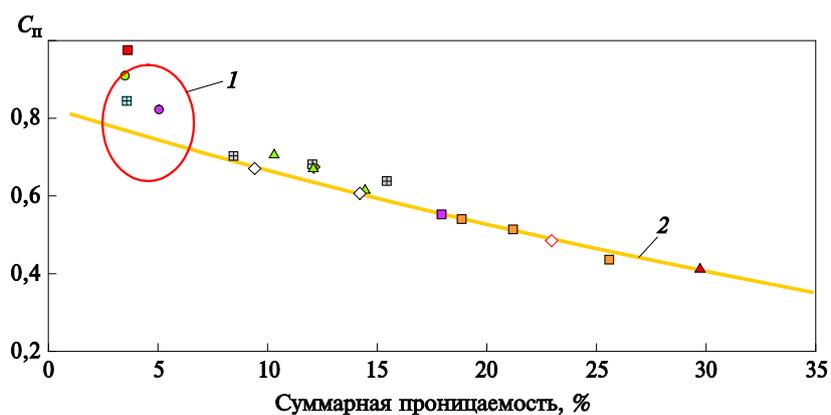


Рис. 1. Результаты экспериментальных сбросов на различных парашютах:

1 — линейная модель; 2 — планирование на нейтральном куполе; ■ — сплошной круглый (\varnothing 3,6 м); ◆ — круговой парус (\varnothing 26,8 м); ▲ — конический 30° ленточный (\varnothing 1,4 м); ◇ — плоский ленточный (\varnothing 3,2 м); ■ — с круговыми щелями (\varnothing 3,6 м); ■ — четвертьсверический (\varnothing 3,6 м); ◇ — конический 10° (\varnothing 30,5 м); ▲ — плоский ленточный (\varnothing 2,7 м); ■ — конический 20° ленточный (\varnothing 2,6 м); ● — конический 30° ленточный (\varnothing 2,1 м); ■ — конический 30° (\varnothing 3,6 м); ● — с выполненной удлиненной входной кромкой $14,3\%$ (\varnothing 20,5 м)

Парашюты с очень большим коэффициентом сопротивления для десантных систем сейчас не применяются, так как ввиду наличия большой горизонтальной составляющей скорости они склонны к схождению. Кроме того, эти парашюты могут спускаться в режиме плоского штопора, что приводит также к схождению парашютистов в воздухе.

Следовательно, способность гасить маятниковые колебания при снижении системы груз — парашют под влиянием внешних воздействий — возможность системы сохранять только кажущееся состояние покоя. Парашют может планировать с достаточно большой горизонтальной скоростью, без раскачки, находясь в вертикальном положении, что вызывает большую суммарную скорость встречи с поверхностью земли.

При анализе устойчивости парашюта необходимо дополнительно учитывать:

1) способность сохранять заданную траекторию движения при нейтральном куполе вне зависимости от изменения массы полезной нагрузки;

2) способность не входить в режим плоского штопора, когда система груз — парашют спускается подобно опадающему листу.

Оценить особенности движения парашюта можно с помощью показателя кучности при выполнении сбросов в спокойной атмосфере. Но это не всегда удается. Поэтому в статье предложен путь косвенной оценки этих показателей по материалам численного моделирования ряда куполов в зависимости от распространения следа за куполом.

Выбор формы купола расчетных моделей. Известно, что наиболее приемлемым с точки зрения максимального сопротивления является четвертьсферический парашют, сшитый в виде сегмента сферы с раскройной площадью

$$F_{\text{п}} = \pi R^2,$$

где R — радиус сферы.

Это положение подтверждается результатами продувок в трубе жестких моделей, похожих на купол парашюта в наполненном состоянии [5]. На рис. 2 показана зависимость коэффициента лобового сопротивления $C_{x.a}$ для жестких тел, типа сегмент сферы, от соотношения диаметра входного отверстия к высоте тела.

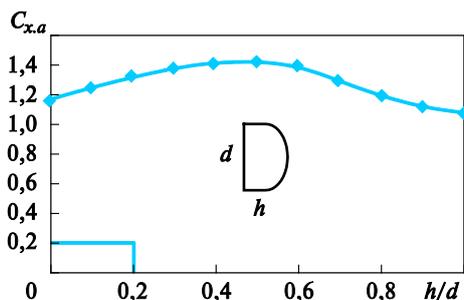


Рис. 2. Зависимость коэффициента лобового сопротивления для жестких тел от соотношения диаметра входного отверстия к высоте тела

Нормирующая площадь в данном случае — площадь миделя. Видно возрастание коэффициента $C_{x.a}$ с увеличением высоты (протяженности) тела от значения 1,15...1,17 для диска и до максимума коэффициента лобового сопротивления для полусферы, значение которого составляет 1,42...1,44 для числа Рейнольдса, изменяющегося в пределах 10^4 ... 10^6 , что соответствует режиму обтекания людских парашютов. Далее коэффициент сопротивления плавно снижается до теоретического значения 1,05: это вызвано ростом высоты верхней части купола — «обтекателя». Важно отметить, что по мере увеличения отношения h/d

возрастает и устойчивость куполов в потоке, поэтому купола с рифлением по нижней кромке очень устойчивы.

Анализ этих данных показывает, что наибольшим лобовым сопротивлением должны обладать конструкции парашютов, купола которых приобретают форму, близкую к четверть- и полусферической.

Результаты численного моделирования. Задача численного моделирования обтекания ПС решается пошагово с использованием двух методик:

- 1) моделирование формообразования;
- 2) моделирование течений около плохообтекаемого тела на основе метода дискретных вихрей.

Первая методика позволяет получить объемную наполненную форму купола парашюта с учетом особенностей текстильных материалов методом установления. Она была предложена Н.Л. Горским в 1984 г. [6]. Автором были разработаны программные реализации этой методики для расчета ряда конфигураций куполов парашютов, в том числе рассмотренных в настоящей статье.

Геометрические данные по моделированию тканевой конструкции купола заносили в программу моделирования течений на основе метода дискретных вихрей, созданную А.В. Сетухой. Для этого автором был написан специальный программный интерфейс. Кроме того, поскольку в указанной программе не совсем корректно реализован алгоритм непротыкания, автором был создан собственный программный комплекс расчета аэродинамических характеристик парашютных систем с учетом проницаемости ткани.

Расчетная модель с расчетной точкой четвертьсферического купола, полученная в результате решения задачи формообразования, показана на рис. 3. Известно, что такой купол имеет больший коэффициент сопротивления по сравнению с парашютом типа плоский круг аналогичной площади.

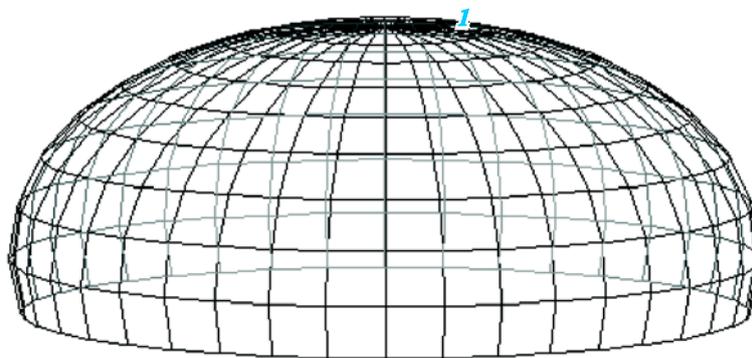


Рис. 3. Расчетная модель четвертьсферического купола

Образующая четвертьсферического купола в безразмерном виде показана на рис. 4. Значение соотношения высоты купола:

- к диаметру входного отверстия — 0,38;
- диаметру миделя — 0,37.

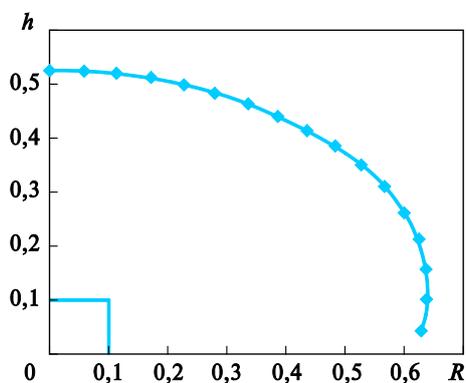


Рис. 4. Образующая четвертьсферического купола в безразмерном виде

Результаты расчета аэродинамических коэффициентов четвертьсферического парашюта приведены на рис. 5. Значение коэффициента сопротивления парашюта стремится к значению 0,95 при увеличении безразмерного времени счета τ . Аэродинамические коэффициенты отнесены к значению общей раскрытой площади купола.

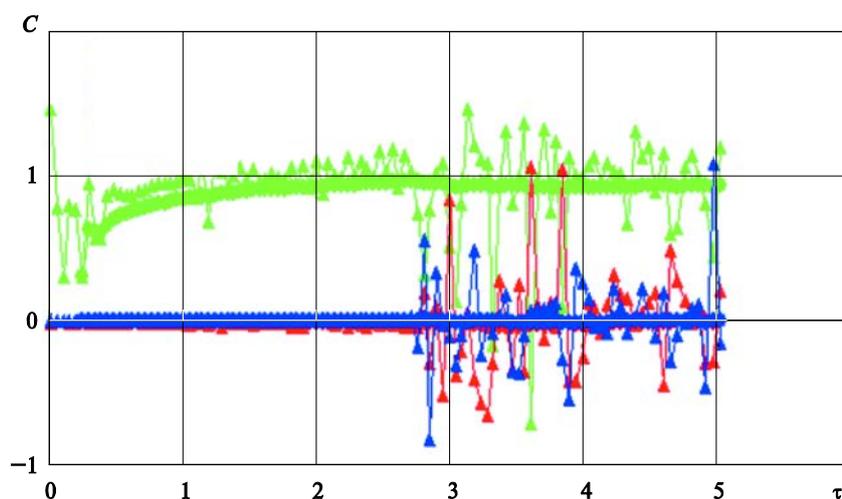


Рис. 5. Результаты расчета аэродинамических коэффициентов четвертьсферического парашюта:

$\text{---}\square\text{---}$ $C_{x,a}$; $\text{---}\circ\text{---}$ $C_{y,a}$; $\text{---}\triangle\text{---}$ $C_{z,a}$;
 $\text{---}\diamond\text{---}$ $C_{x,a,m,v}$; $\text{---}\square\text{---}$ $C_{y,a,m,v}$; $\text{---}\circ\text{---}$ $C_{z,a,m,v}$

Вихревая пелена и безразмерный коэффициент перепада давления по поверхности четверть сферического купола представлены на рис. 6. Видно существенное влияние нестационарности обтекания расчетной модели, поскольку высокое значение коэффициента сопротивления получаются за счет существенного уменьшения устойчивости в потоке такого парашюта. Поведение купола в потоке определяется поведением вовлеченных масс воздуха в его следе. Известно, что присоединенные массы могут превышать массу спасаемого груза более чем в 2 раза. Так как масса конструкции купола парашюта составляет чуть больше 40 г/м^2 , это приводит к его сильной раскачке.

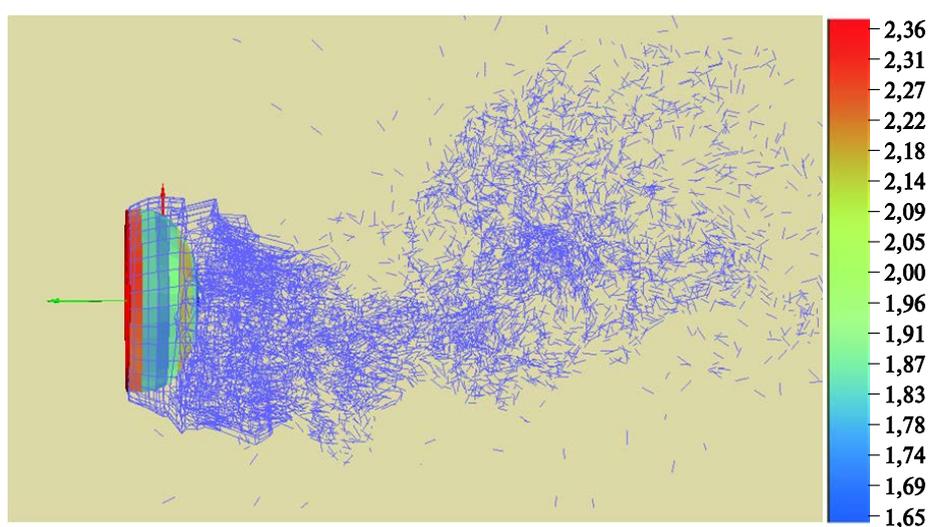


Рис. 6. Вихревая пелена и безразмерный коэффициент перепада давления по поверхности четверть сферического купола

Поскольку полусферический парашют обладает хорошей устойчивостью при снижении, было проведено численное моделирование такого парашюта.

Образующая купола полусферического парашюта показана на рис. 7 в безразмерном виде при относительной длине строп, равной 1 (длина строп равна диаметру раскройной поверхности купола). Значение соотношения высоты купола:

- к диаметру входного отверстия — 0,53;
- диаметру миделя — 0,5.

Раскройная форма клина полусферического купола показана на рис. 8. Получение такой выкройки в автоматическом режиме существенно сокращает временные затраты на проектирование круглых парашютов.

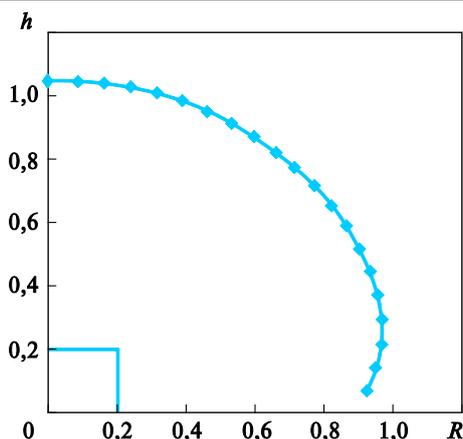


Рис. 7. Образующая полусферического купола в безразмерном виде

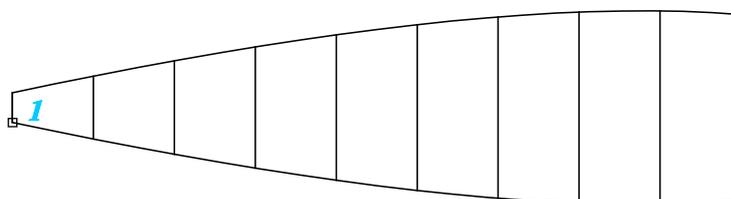


Рис. 8. Раскройная форма клина полусферического купола

Результаты расчета аэродинамических коэффициентов полусферического парашюта приведены на рис. 9. Видно, что значение коэффициента лобового сопротивления парашюта $C_{x,a}$ стремится к 0,7. Аэродинамические коэффициенты были отнесены к значению общей раскройной площади.

Вихревая пелена и безразмерный коэффициент перепада давления по поверхности полусферического купола представлены на рис. 10. Видно достаточно устойчивое развитие вихревого следа за моделью, что свидетельствует о высокой устойчивости такого парашюта в потоке.

Рассчитанная зависимость коэффициента сопротивления для парашюта C_n от соотношения диаметра миделя к высоте купола показана на рис. 11. Корректировка значений проведена по отношению к площади раскройной поверхности.

Рассмотрим результаты численного моделирования парашюта типа Т-11. Анализ фотографий наполненного купола такого парашюта показывает, что значение соотношения высоты купола следующее:

- к диаметру входного отверстия — 0,52;
- диаметру миделя — 0,5 (при относительной длине строп 1), это свидетельствует о том, что данный купол близок к полусферическому.

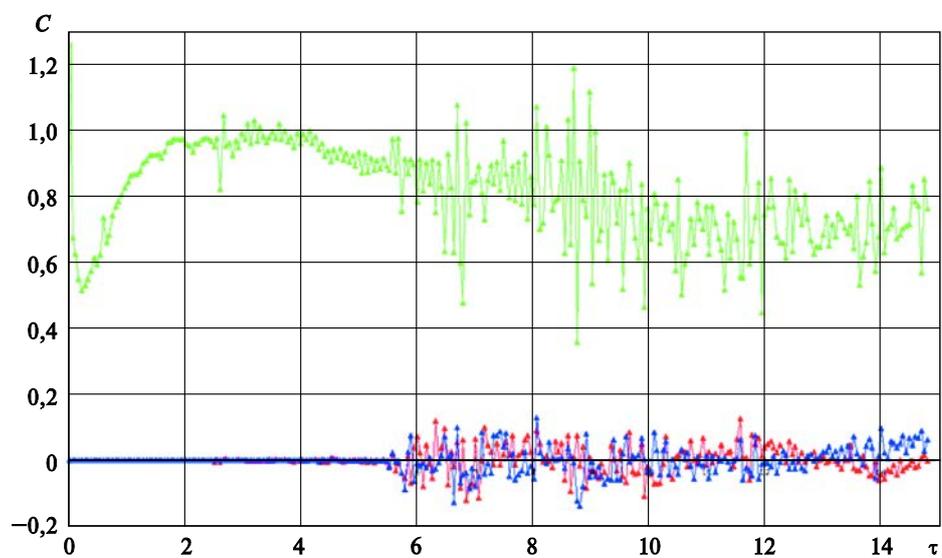


Рис. 9. Результаты расчета аэродинамических коэффициентов полусферического парашюта:

—■— $C_{x,a}$; —■— $C_{y,a}$; —▲— $C_{z,a}$;
—■— $C_{x,a,mv}$; —▲— $C_{y,a,mv}$; —■— $C_{z,a,mv}$

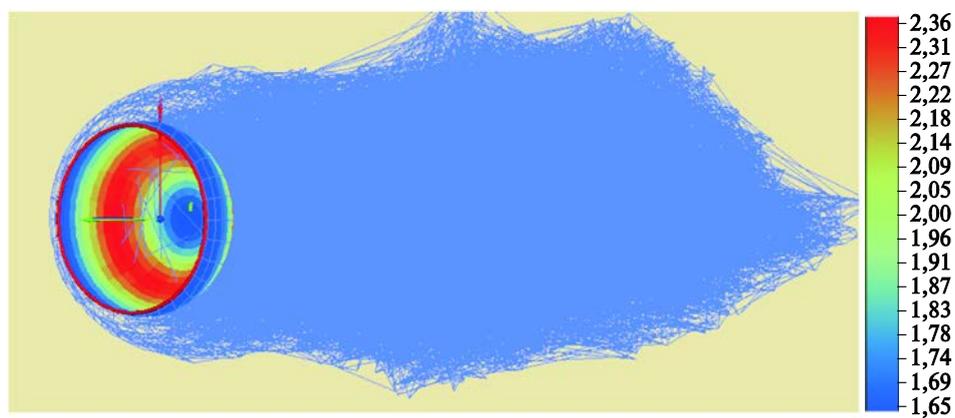


Рис. 10. Вихревая пелена и безразмерный коэффициент перепада давления по поверхности полусферического купола

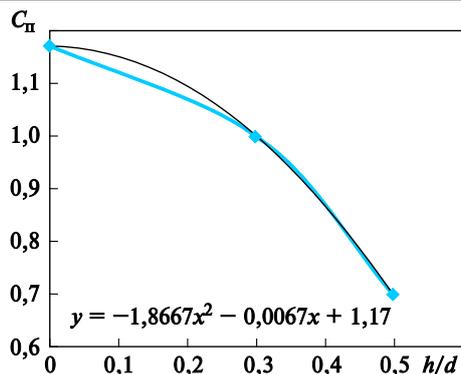


Рис. 11. Рассчитанная зависимость коэффициента сопротивления C_n для парашюта

Исходная раскройная форма модели купола парашюта типа Т-11 представлена на рис. 12, *а*. Для расчетной модели, так же как и для реального парашюта, необходимо сшить лопасти (рис. 12, *б*). На рис. 12, *в* показана расчетная модель купола типа Т-11 после наполнения. Расчет проведен методом установления при постоянном давлении по куполу на скорости установившегося спуска, равной 5,0 м/с.

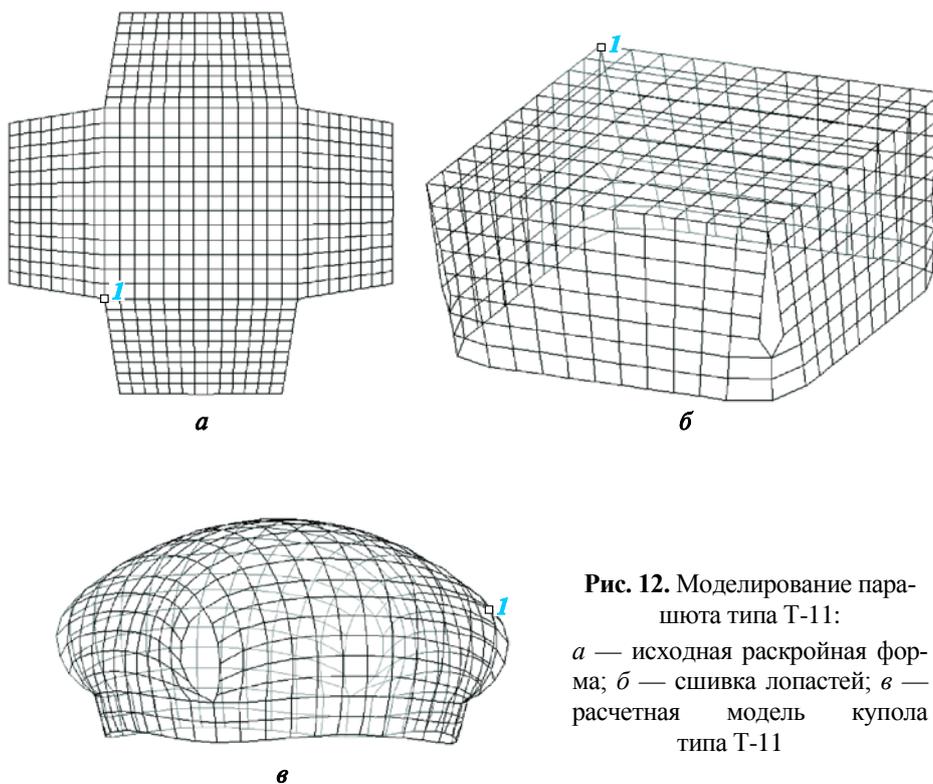


Рис. 12. Моделирование парашюта типа Т-11:

а — исходная раскройная форма; *б* — сшивка лопастей; *в* — расчетная модель купола типа Т-11

Геометрические данные по моделированию тканевой конструкции купола парашюта типа Т-11 были внесены в программу моделирования течений на основе метода дискретных вихрей.

Результаты расчета аэродинамических характеристик модели купола типа Т-11 при данных параметрах расчета показаны на рис. 13. Аэродинамические коэффициенты были отнесены к значению общей раскройной площади. Коэффициент сопротивления парашюта стремится к значению 0,66, но следует учитывать, что такой купол имеет существенную геометрическую проницаемость по миделеву сечению. Это несколько увеличивает его коэффициент сопротивления.

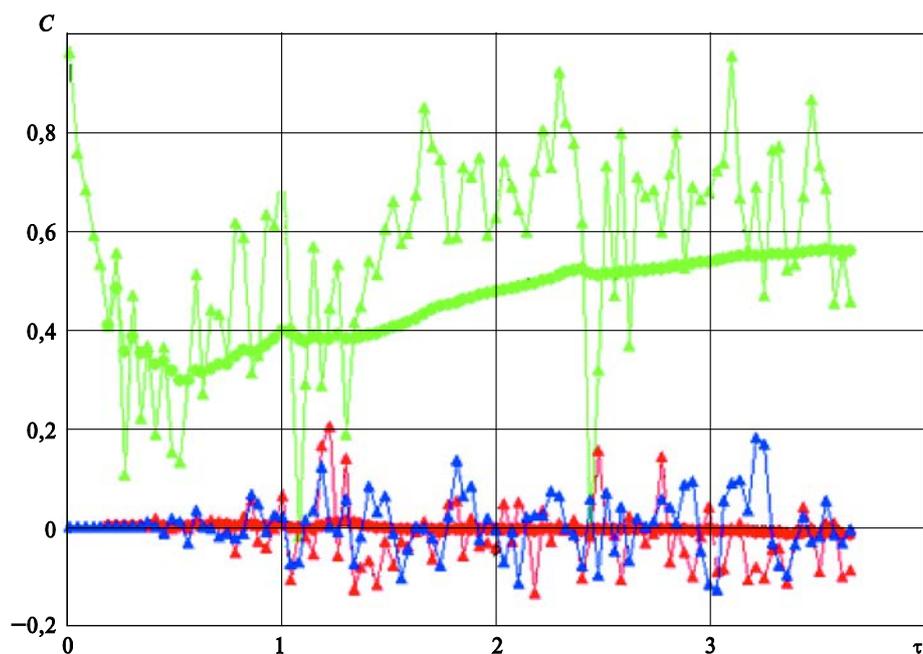


Рис. 13. Результаты расчета аэродинамических характеристик модели купола типа Т-11:

$\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{x,a}$; $\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{y,a}$; $\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{z,a}$;
 $\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{x,a,п}$; $\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{y,a,п}$; $\text{—}\triangle\text{—}$ $C_{z,a,п}$

Вихревая пелена и безразмерный коэффициент перепада давления по поверхности купола показаны на рис. 14. Видно достаточно равномерное развитие вихревого следа за куполом, что говорит о высокой устойчивости в потоке такого парашюта.

На основании анализа проведенных численных экспериментов было получено подтверждение того, что интенсивность вихреобразования за куполом определяет не только величину силы сопротивления парашюта, но и устойчивость парашюта ввиду малой массы исследуемого летательного аппарата. Эти результаты позволяют утверждать, что именно расширенное понятие устойчивости используется в современном подходе к проектированию иностранных десантных ПС.

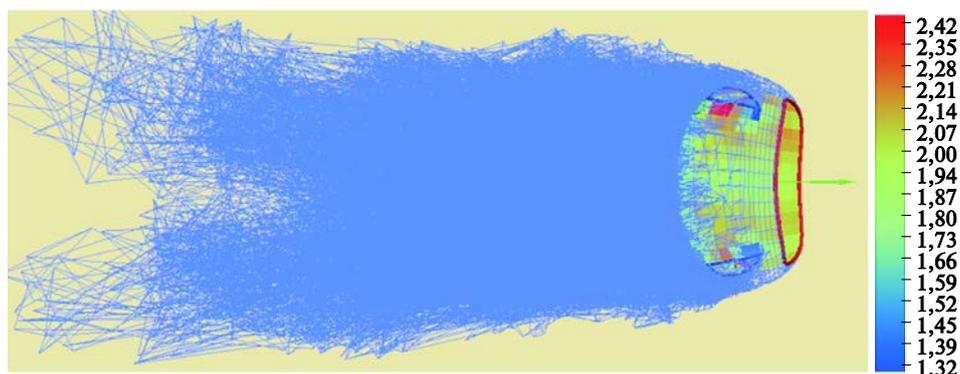


Рис. 14. Вихревая пелена и коэффициент безразмерного перепада давления по поверхности купола парашюта типа Т-11

Вихреобразование и поведение следа определяются особенностями отрыва турбулентного пограничного слоя с поверхности купола. Известно явление затягивания отрыва на поверхности сферы в случае применения турбулизатора [7]. При наличии проволочного кольца (рис. 15, б) дым, выпускаемый в кормовой части сферы, позволяет наблюдать след с завихрениями меньшей интенсивности. Уменьшение зоны и интенсивности вихреобразования приводит к существенному уменьшению коэффициента сопротивления сферы. Но для парашюта этот эффект минимален из-за особенностей формы купола.

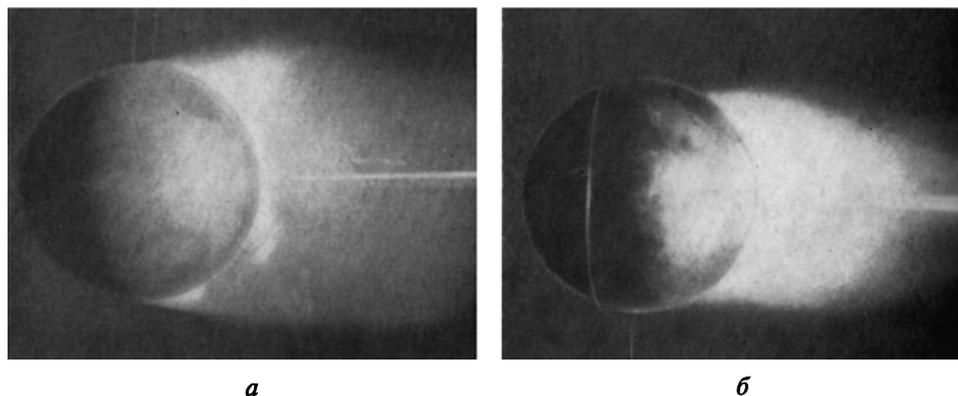


Рис. 15. Затягивание отрыва на поверхности сферы за счет применения турбулизатора: а — обычная сфера; б — сфера с проволочным кольцом в передней части

На основании вышеизложенного автором настоящей статьи было сделано предположение, что уменьшение интенсивности вихреобразования в следе приведет также к повышению устойчивости снижения парашютов. Для проверки этой гипотезы была предложена специальная поликоническая форма купола парашюта, показанная на рис. 16.

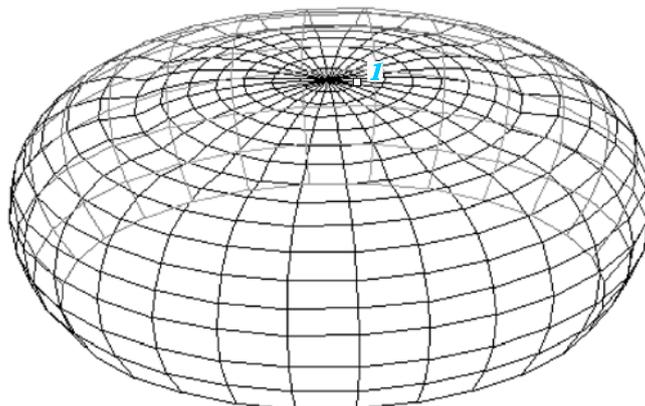


Рис. 16. Купол парашюта поликонической формы

Образующая кривая куполов таких парашютов имеет достаточно малую кривизну. Из-за плавного изменения градиента давления вдоль образующей такие купола имеют затянутый отрыв турбулентного пограничного слоя, что приводит к уменьшению интенсивности вихреобразования и достаточно «гладкому» вихревому следу при сохранении высокого коэффициента сопротивления и хорошей устойчивости парашюта при снижении.

Для проверки гипотезы было проведено численное моделирование осевого обтекания купола поликонической формы с использованием собственной методики автора, разработанной на основе метода дискретных вихрей. Эта методика кратко описана в работах [8, 9]. Форма вихревого следа за куполом показана на рис. 17.



Рис. 17. Вихревой след за куполом парашюта поликонической формы
а — вид сбоку; б — вид сзади

Видно, что след имеет достаточно симметричную форму, что свидетельствует о высокой устойчивости парашюта.

Результаты экспериментальных исследований. Для подтверждения гипотезы и определения коэффициента сопротивления купола поликонической формы была шита макетная ПС (рис. 18). В 2019 г. проведены стрельбовые и летные эксперименты с ПС при $F_n = 25 \text{ м}^2$.



Рис. 18. Макетная парашютная система при $F_{\text{п}} = 25 \text{ м}^2$:

1 — купол парашюта поликонической формы; 2 — система рифления центральной стропы; 3 — несущие стропы; 4 — весовой макет

Сравнительные характеристики современных парашютных систем

Обозначение	Раскройная форма купола	Полетная масса, кг	Количество каскадов парашютной системы	Скорость установившегося спуска, м/с	Масса парашюта, кг	Удельная нагрузка на площадь, кг/м ²
Д-6 (СССР)	Плоский круг	120	2	5,0	11,5	1,45
Д-10(РФ)	Специальная	140	2	5,0	11,7	1,40
Мк1 LLP (Великобритания)	Поликоническая	160	1 (рифление)	5,6	10,4	1,37
RS-2000 (ФРГ)	Поликоническая	160	1	4,2	14,0	1,88
С-400 (Испания)	Поликоническая	185	1 (рифление)	4,9	16,6	1,22
Прототип (РФ)	Поликоническая	35	1 (рифление)	5,16	4,5	1,40

Для сравнения в таблице представлены характеристики современных отечественных и зарубежных десантных парашютных систем.

В результате стрельбового эксперимента был определен путь наполнения парашюта в соответствии с формулой В.С. Еремина [10]. При скорости ввода системы в действие 30 м/с он составил 15 м. Соответственно, безразмерный путь наполнения имеет значение 3 ед. Эти результаты подтверждают данные о минимально допустимой высоте применения подобных ПС зарубежного производства, равной 76 м.

Заключение. Предложено расширить понятие устойчивости парашюта. Традиционно считалось, что парашют является устойчивым, если он способен гасить маятниковые колебания при снижении системы груз — парашют. Это утверждение рекомендуется дополнить обязательным учетом способности системы сохранять заданную траекторию движения при нейтральном куполе вне зависимости от изменения массы полезной нагрузки. Для десантных систем повышение этого рода устойчивости парашютов приводит к существенному увеличению кучности приземления десантников и уменьшению вероятности схождения парашютистов в воздухе.

Приведены результаты численного моделирования куполов: парашюта типа Т-11, полусферического, четвертьсферического и поликонического. На основе анализа этих результатов была предложена гипотеза о том, что уменьшение интенсивности вихреобразования в следе приводит к повышению устойчивости снижения парашютов. Результаты численного моделирования обтекания поликонического купола подтвердили правильность выдвинутой гипотезы.

Для подтверждения этой гипотезы был создан модельный парашют специальной поликонической формы. Экспериментальная проверка этого изделия показала хорошую устойчивость и высокие аэродинамические характеристики такого парашюта. В статье представлены обобщенные результаты стрельбовых и летных экспериментов с модельной ПС. Выявлено, что такие парашюты имеют достаточно высокий коэффициент сопротивления и подходят для создания парашютов с минимально допустимой высотой применения 76 м.

Автор настоящей статьи планирует проведение систематических исследований аэродинамики парашютов с новой формой купола. Проблемы разработки парашютов повышенной устойчивости тесно связаны с недостаточностью разработки теории турбулентного пограничного слоя. Для решения этих задач предполагается проведение комплекса экспериментальных и численных исследований. Ожидаемым результатом этих исследований является существенное уточнение современной теории парашюта в целом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Плосков С.Ю., Хурсевич С.Н. *Обзор зарубежных десантных систем военного назначения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. ISBN 978-5-7038-5006-0
- [2] Maydew R.C., Peterson C.W. *Design and Testing of High-Performance Parachutes*. AGARDograph 319, 1991. ISBN 92-835-0649-9
URL: <https://www.sto.nato.int/publications/AGARD/AGARD-AG-319/AGARD-AG-319.pdf> (дата обращения 01.04.2020).
- [3] Плосков С.Ю., Муравьев Ю.В. Новый подход к проектированию зарубежных десантных парашютных систем военного назначения. *17-я Международная*

- конференция «Авиация и космонавтика – 2018». 19–23 ноября 2018 года. Москва. Тезисы. Москва, МАИ, 2018, с. 44–45.
- [4] Knacke T.W. *Parachute Recovery Systems Design Manual*. NWC TP6575, Naval Weapons Center, China Lake, CA, Distributed by Para-Publishing, P.O. Box 4232, Santa Barbara, CA 91340-4232, pp. 5–72.
- [5] Hoerner S.F. *Fluid-dynamic drag. Theoretical, experimental and statistical information*. Published by the Author, 1965, pp. 3–17. URL: <https://ru.scribd.com/doc/117103507/Hoerner-Fluid-Dynamic-Drag> (дата обращения 01.04.2020).
- [6] Горский Н.Л. Численный способ расчета динамики мягкой оболочки, основанный на дискретной модели тела. *Динамические системы. Респ. междувед. науч. сб. Вып. 6*. Киев, Вища шк., Изд-во при Киев. гос. ун-те, 1987, с. 26–30.
- [7] Бэтчелор Дж. *Введение в динамику жидкости*. Москва, Мир, 1973, 792 с.
- [8] Петров Ю.В., Плосков С.Ю. Расчет аэродинамических характеристик многокупольных парашютных систем с учетом интерференции между куполами. *Труды IX Международного симпозиума «Методы дискретных особенностей в задачах математической физики» МДОЗМФ-2000*. Орел, 2000, с. 339–342.
- [9] Плосков С.Ю. Современный подход к проектированию иностранных десантных парашютных систем. *XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. В 2-х т. Т. 1. Москва, 28–31 января 2020 года. Тезисы*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020, с. 782–784.
- [10] Лобанов Н.А. *Основы расчета и конструирования парашютов*. Москва, Машиностроение, 1965, с. 88.

Статья поступила в редакцию 13.05.2020

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Плосков С.Ю. Современный подход к проектированию иностранных десантных парашютных систем. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 8. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-8-2008>

Плосков Сергей Юрьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана; начальник отдела АО «НИИ Парашотостроения». Лауреат гранта Президента Российской Федерации 2005 г. e-mail: sergploskov@yandex.ru

A modern approach to the design of foreign landing parachute systems

© S.Yu. Ploskov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia
Joint-Stock Company “NII Parachutostroyeniya”, Moscow, 107241, Russia

Landing parachute systems are among the most demanded samples of parachute equipment. The purpose of the study was to find new principles for developing parachutes with increased stability according to the analysis of the results of numerical and experimental studies of canopies of various shapes. The paper proposes to supplement a traditional definition of the stability of a parachute system with the obligatory consideration of the system's ability to maintain a given trajectory of movement with a neutral canopy, regardless of the change in the payload mass. It is the expanded concept of stability that is taken as the basis of the modern approach to the design of foreign landing parachute systems. The study substantiates the main criteria for choosing the optimal cutting shape for parachute systems of increased stability of various types at the stage of preliminary design. The results of numerical modeling of canopies are presented: quarter-spherical, hemispherical, polyconic canopies and a T-11 type parachute canopy. Based on the analysis of these results, the study was first to propose a hypothesis that a decrease in the intensity of vortex formation in the wake leads to an increase in the stability of the parachute descent. The results of numerical modeling of canopies of various shapes, as well as experimental studies of a model polyconic parachute, which prove the correctness of the proposed hypothesis, are presented.

Keywords: landing parachute systems, parachute with increased stability, neutral canopy, payload mass, optimal cutting shape, intensity of vortex formation in the wake, numerical modeling of canopies

REFERENCES

- [1] Ploskov S.Yu., Khursevich S.N. *Obzor zarubezhnykh desantnykh sistem voennogo naznacheniya* [Overview of foreign military landing systems]. Moscow, BMSTU Publ., 2018. ISBN 978-5-7038-5006-0
- [2] Maydew R.C., Peterson C.W. *Design and Testing of High-Performance Parachutes*. AGARDograph 319, 1991. ISBN 92-835-0649-9. Available at: <https://www.sto.nato.int/publications/AGARD/AGARD-AG-319/AGARD-AG-319.pdf> (accessed April 1, 2020).
- [3] Ploskov S.Yu., Muravyov Yu.V. Novyy podkhod k proyektirovaniyu zarubezhnykh desantnykh parashyutnykh sistem voyennogo naznacheniya [A new approach to the design of foreign military parachute systems]. In: *17th International Conference “Aviation and Cosmonautics – 2018”*. November 19–23, 2018. Moscow. Abstracts. Moscow, MAI, 2018, pp. 44–45.
- [4] Knacke T.W. *Parachute Recovery Systems Design Manual*. NWC TP6575, Naval Weapons Center, China Lake, CA, Distributed by Para-Publishing, P.O. Box 4232, Santa Barbara, CA 91340-4232, pp. 5–72.
- [5] Hoerner S.F. *Fluid-dynamic drag. Theoretical, experimental and statistical information*. Published by the Author, 1965, pp. 3–17. Available at: <https://ru.scribd.com/doc/117103507/Hoerner-Fluid-Dynamic-Drag> (accessed April 1, 2020).

- [6] Gorskiy N.L. Chislenny sposob rascheta dinamiki myagkoy obolochki, osnovanny na diskretnoy modeli tela [A numerical method for calculating the dynamics of a soft shell based on a discrete body model]. In: *Dinamicheskie sistemy. Rep. mezhdoved. nauch. sbornik* [Dynamical systems. Rep. inter-institutional sci. collected works 6]. Issue No. 6. Kiev, Vishcha shkola Publ., Publishing house at Kiev state University, 1987, pp. 26–30.
- [7] Batchelor G.K. *An Introduction to Fluid Dynamics*. Cambridge University Press, 1970, 615 p. [In Russ.: Batchelor G.K. Vvedenie v dinamiku zhidkosti. Moscow, Mir Publ., 1973, 792 p.].
- [8] Petrov Yu.V., Ploskov S.Yu. Raschet aerodinamicheskikh kharakteristik mnogokupol'nykh parashyutnykh sistem s uchetom interferentsii mezhdu kupolami [Calculation of the aerodynamic characteristics of multi-dome parachute systems taking into account the interference between the domes]. In: *Trudy IX Mezhdunarodnogo simpoziuma «Metody diskretnykh osobennostey v zadachakh matematicheskoy fiziki» MDOZMF-2000* [Proceedings of the IX International Symposium “Methods of discrete singularities in problems of mathematical physics” MDOZMF-2000]. Orel, 2000, pp. 339–342.
- [9] Ploskov S.Yu. Sovremennyy podkhod k proyektirovaniyu inostrannykh desantnykh parashyutnykh sistem [A modern approach to the design of foreign landing parachute systems]. *XLIV Akademicheskkiye chteniya po kosmonavtike, posvyashchennyye pamyati akademika S.P. Korolova i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh — pionerov osvoyeniya kosmicheskogo prostranstva. Moskva, 28–31 yanvarya 2020 goda. Tezisy* [XLIV Academic readings on cosmonautics dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other prominent Russian scientists — pioneers of space exploration. Moscow, January 28–31, 2020. Abstracts]. In 2 vols. Vol. 1. Moscow, BMSTU Publ., 2020, pp. 782–784.
- [10] Lobanov N.A. *Osnovy rascheta i konstruirovaniya parashiutov* [Fundamentals of calculation and design of parachutes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1965, 88 p.

Ploskov S.Yu. (b. 1972), graduated with honors from Irkutsk Higher Military Aviation Engineering School, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Dynamics and Flight Control of Rockets and Spacecraft, Bauman Moscow State Technical University, Laureate of the grant of the President of the Russian Federation, 2005. Research interests: numerical methods for modeling parachute systems. Author of over 30 scientific papers. e-mail: sergploskov@yandex.ru