

# АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

---

---

## АЭРОДИНАМИКА И ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

---

---

УДК 629.734.7; 533.666.22

### АСИММЕТРИЧНОСТЬ В ПРОЦЕССЕ НАПОЛНЕНИЯ КУПОЛОВ ПАРАШЮТОВ

**Иванов П.И.\* , Куринный С.М.\*\* , Криворотов М.М.\*\*\***

*Научно-исследовательский институт аэроупругих систем,  
НИИ АУС, ул. Гарнаева, 85, Феодосия, Республика Крым, 298112, Россия*

*\* e-mail: Ivanovpetr@rambler.ru*

*\*\* e-mail: Kurinniys@yandex.ru*

*\*\*\* e-mail: Krivorotovmm@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 03.06.2019

---

Представлены результаты экспериментальных исследований процессов наполнения парашютов больших площадей, а также отклонений от нормы в этих процессах, влияющих на основные характеристики, прочность и несущую способность парашютов, что имеет большое прикладное значение в конструкторской и испытательной практике парашютных систем основного класса.

Ключевые слова: парашютная система, асимметричное наполнение купола парашюта, аэродинамическая нагрузка, формообразование контура кромки.

---

#### **Введение**

Вопросы наполнения куполов парашютов относятся к ряду важнейших в теории и летно-испытательной практике парашюта [1–13]. Случаи отказов в процессе наполнения не раз приводили к катастрофическим ситуациям, иногда с человеческими жертвами [11–15], поэтому ученые в области парашютостроения проблеме наполняемости парашюта уделяют особенно пристальное внимание.

#### **Основная часть**

Основной целью работы является исследование динамики и специфики процесса наполнения парашютов больших площадей, применяемых для спасения возвращаемых космических аппаратов, а также для десантирования грузов больших масс гражданской и военной техники.

Проблемными здесь являются вопросы, связанные с появлением больших значений аэродинамических нагрузок в процессе динамичного наполнения парашюта, что может приводить к преждевременной потере его прочности, а также вопросы, связанные с длительными задержками в

процессе наполнения, что увеличивает путь и потерю высоты при наполнении и является крайне опасным при низковысотном десантировании.

Под *наполнением* парашюта понимается процесс непрерывного изменения геометрии купола парашюта в потоке, при котором непрерывно возрастают площади его поперечных (миделевого и входного) сечений и коэффициент сопротивления парашюта.

Под *наполняемостью* понимается способность парашюта к наполнению.

Процесс наполнения куполов парашютов различных классов характеризуется динамичностью наполнения купола, т.е. скоростью раскрытия купола парашюта, одной из основных характеристик которой является время его наполнения  $t_H$ . Чем энергичнее и быстрее наполняется купол парашюта, тем меньше время его наполнения.

Экспериментально установлена зависимость между временем наполнения и аэродинамической нагрузкой на парашют  $R_{max}$  – максимальным значением силы сопротивления в процессе наполнения парашюта.

На рис. 1 представлен график экспериментальной зависимости  $R_{max} = f(t_H)$ , полученной по результатам обработки 15 летных экспериментов парашютов основного класса с площадью купола  $F_H = 1000 \text{ м}^2$  без конструктивной проницаемости.

Основа купола изготовлена из капроновой ткани арт.56004П. Масса объекта десантирования  $m = 2600 \text{ кг}$ .

Режимы применения парашюта: скорость в момент начала наполнения  $V_0 \approx 57 \text{ м/с}$ , высота  $H \approx 2500 \text{ м}$ . Здесь также представлены графики перегрузок  $n_{max} = f(t_H)$  и пути наполнения парашюта  $S_H = f(t_H)$  как функции от времени наполнения, что дает достаточно полное представление об изменении характеристик процесса наполнения парашюта в зависимости от его динамики, характеризуемой временем наполнения купола парашюта.

Из рис. 1 следует, что чем больше время наполнения купола, тем меньше аэродинамическая нагрузка на парашют и, наоборот, чем меньше время наполнения, тем больше действующая на него аэродинамическая нагрузка.

Превышение величины аэродинамической нагрузки выше предельно допустимого значения, а также большой градиент (крутизна) переднего фронта нарастания нагрузки в большинстве случаев может привести к разрушению парашюта. Этот факт заставляет обратить пристальное внимание на исследование динамики процессов наполнения парашютов.

Отчего же зависит динамика процесса наполнения купола парашюта?

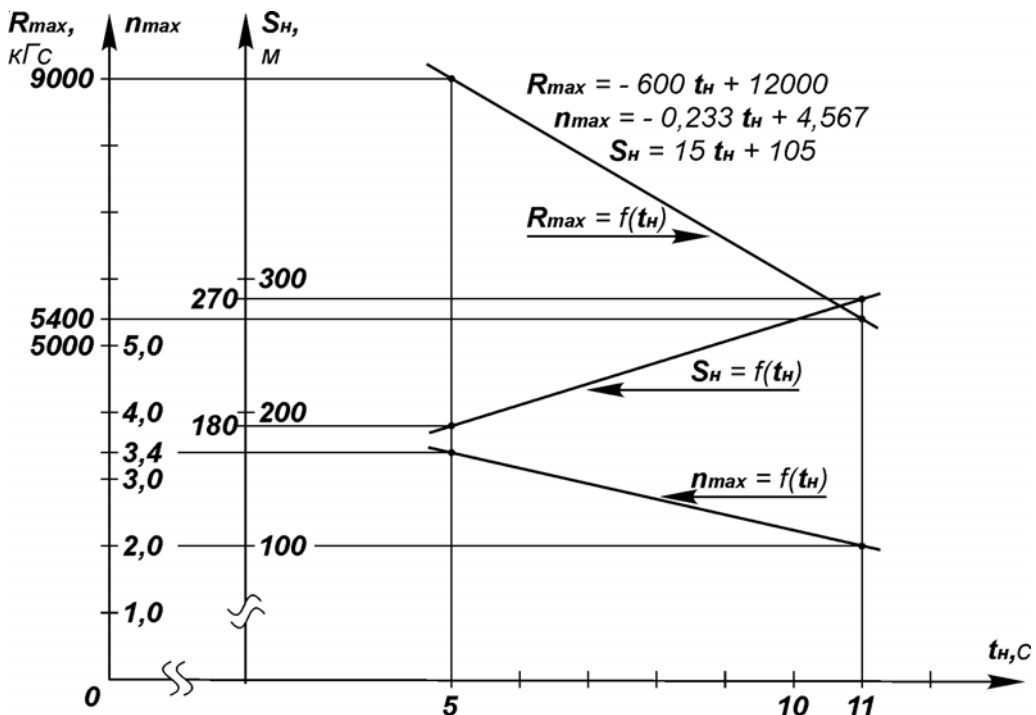


Рис.1. Характеристики процесса наполнения парашюта площадью  $1000 \text{ м}^2$  как функции от времени наполнения

Экспериментальные исследования показали [1], что одной из основных причин изменения скорости раскрытия купола парашюта является процесс формообразования контура кромки входного сечения (отверстия) купола в процессе его наполнения.

В соответствии с аэромеханическим принципом минимума работ, в идеальном случае парашют с учетом наложенных связей стремится выбрать такую конфигурацию контура кромки, при которой его работа против сил сопротивления в процессе раскрытия будет минимальна. А это значит, что площадь входного сечения купола в процессе наполнения должна быть, по возможности, минимальной.

Экспериментальные исследования [1] геометрии контуров входных сечений куполов больших

площадей типа «плоский круг в раскрое» в процессе наполнения показывают, что такой формой будет звездообразная или дугообразная (с четко выраженным каналом внутри купола), рис. 2, фактически полностью запирающая площадь входного сечения купола для входа воздуха под купол и задерживающая его наполнение. На рис. 3 представлено фото достаточно мощного канала на боковой геометрии купола площадью  $1000 \text{ м}^2$ , что соответствует существенно дугообразной геометрии контура кромки входного сечения.

Купола, у которых образовалась такая геометрия контура кромки входного сечения, наполняются очень медленно (или вообще не успевают наполниться при малых высотах десантирования), и аэродинамическая нагрузка на парашют мала по сравнению со случаями реализации других геомет-

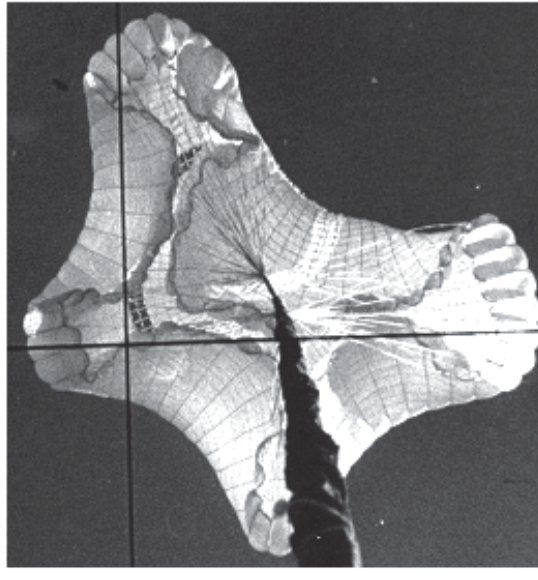
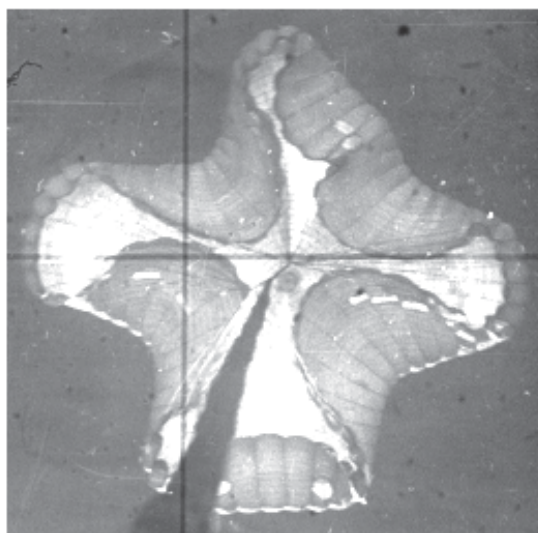
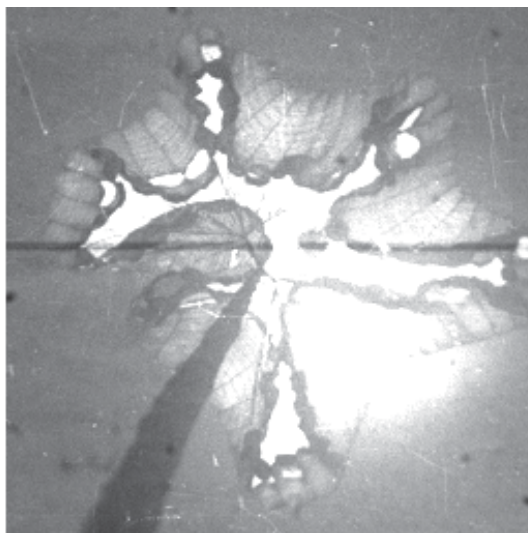


Рис. 2. Типы геометрии контуров входного сечения купола, задерживающие процесс наполнения купола во времени



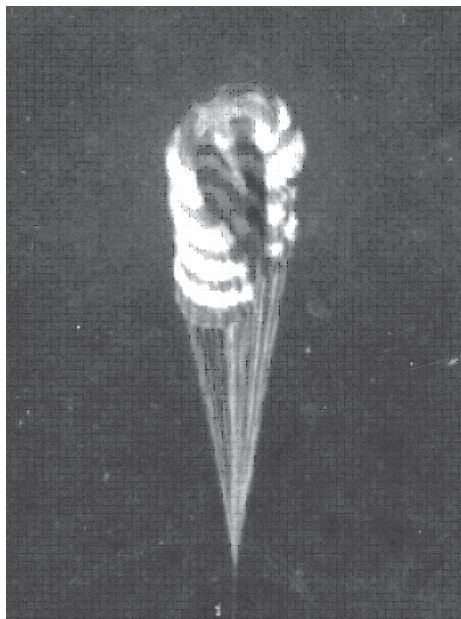


Рис. 3. Мощный канал на боковой поверхности купола в процессе его наполнения

рических форм контура кромки входного сечения купола.

Особенно часто такие формы реализуются при относительно больших значениях тканевой ( $>800 \text{ л}/(\text{м}^2\text{с})$ ) или конструктивной воздухопроницаемости купола или при малой жесткости контура кромки купола парашюта.

Идеальным, с точки зрения наполняемости купола, является случай практически симметричного формообразования контура кромки купола (рис. 4), при котором формируется умеренная, относительно симметричная звездообразность купола (6–8 лучей звезды контура кромки), с ярко

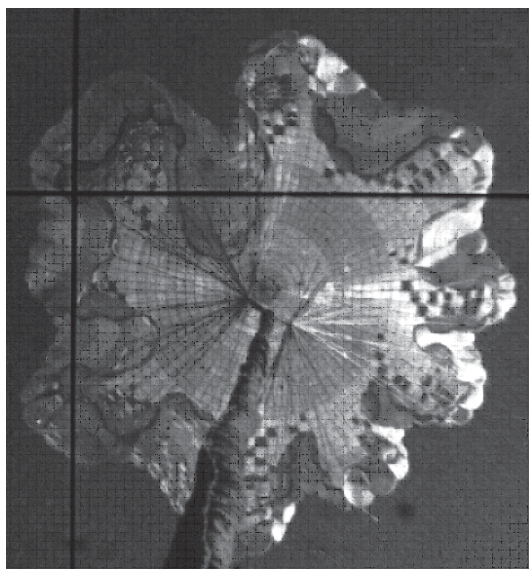


Рис. 4. Случай почти симметричного формообразования контура кромки купола парашюта

выраженной центральной зоной, открытой для поступления воздуха под купол и его плавного наполнения. В таком случае получаются умеренные значения аэродинамической нагрузки и перегрузки в процессе наполнения купола парашюта.

Однако эксперимент также показал, что наряду с существенно звездообразной и симметричной формами, минимизирующими динамику процесса наполнения, правда, значительно реже, могут возникать и существенно асимметричные формы геометрии кромки входного сечения купола, что представлено на рис. 5.

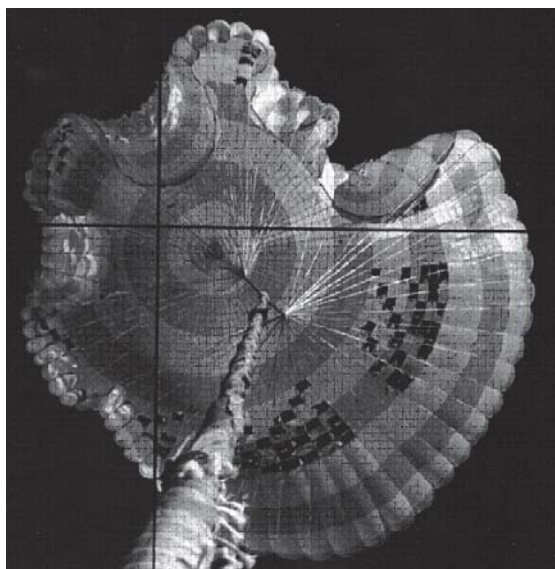


Рис. 5. Пример ярко выраженной асимметрии кромки входного сечения в процессе наполнения купола

В этом случае время наполнения купола будет относительно небольшим, динамика процесса раскрытия купола очень энергичная, аэродинамическая нагрузка на парашют и перегрузка на объект могут быть весьма значительными, что в ряде случаев может приводить к потере несущей способности парашюта и частичному или полному его разрушению [2].

#### Асимметрия процесса наполнения куполов парашютов

Под асимметрией формообразования контура кромки входного сечения купола парашюта большой площади ( $>100 \text{ м}^2$ ) понимается степень ее отличия от симметричной звездообразной конфигурации.

Летные исследования [2] показывают, что даже при относительно небольших скоростных напорах введения в действие парашютных систем (ПС) больших площадей аэродинамическая нагрузка у

куполов с ярко выраженной асимметрией кромки входного сечения в процессе наполнения, рис. 5, может быть значительно выше, чем у куполов с симметричным формообразованием кромки.

Летные исследования показывают, что разрушающая парашют нагрузка — его несущая способность, имеет весьма значительный коэффициент вариации. Так, парашюты площадей 500–1000 м<sup>2</sup> могут разрушаться при нагрузках от 6 до 15 т, измеряемых тензодатчиком, установленным в коуше парашюта, при расчетной несущей способности 14,5 т.

То есть расчет гарантирует, что при строго осесимметричном наполнении парашют не разрушится при нагрузке ниже 14,5 т, а на практике он может разрушиться уже при 6 т.

При этом установлено, что разрушения парашютов, при относительно малых нагрузках фиксируемых тензодатчиком в коуше, происходят при наличии ярко выраженной асимметрии формообразования контура кромки входного сечения.

Все это дает основание предполагать, что асимметрия формообразования контура кромки входного сечения является одной из причин перечисленных выше эффектов. Если это так, то нужно ответить на следующие два вопроса:

1) Что является причиной появления асимметрии в формообразовании контура кромки купола парашюта?

2) Что является причиной повышения градиента (скорости нарастания) аэродинамической нагрузки и разрушения парашюта при ярко выраженной асимметрии контура кромки входного сечения и нагрузках, значительно меньше его несущей способности?

1. Причин появления асимметрии в формообразовании контура кромки купола парашюта может быть несколько.

Это технологические смещения элементов конструкции при изготовлении парашюта (карманов, лент стяжек, оформления нижней кромки), перекос конструкции после первого нагружения, возникающий из-за использования в конструкции тканей и лент из разных партий с различными коэффициентами относительных удлинений, разброс времени срабатывания пирорезаков рифованных куполов, одноточечное разрифление (пирорезак установлен в одной точке шнура рифления) и др.

Это аэродинамические факторы — появление угла атаки; локальной турбулентности у кромки парашюта; интерференционного взаимодействия

с объектом или другими куполами связки в многокупольной парашютной системе (МКС) и др.

Если в качестве основной причины асимметрии формообразования рассматривать угол атаки, то можно установить, что появление угла атаки при обтекании купола в первую очередь приводит к срыву потока с острого края наветренной стороны кромки купола, ее растаскиванию и образованию серповидной зоны выдувания кромки наружу. Сопротивление купола со стороны выдутой части будет больше, чем со стороны нерасправленной (звездообразной) части кромки, поскольку аэродинамические исследования показывают, что сопротивление звездообразного контура значительно меньше, чем гладкого. Поэтому появляется момент силы, стремящийся еще больше увеличить угол атаки. Таким образом, возникает интенсивно нарастающий процесс с положительной обратной связью, который заканчивается выходом расправленной части кромки на границу контура миделя полностью раскрытого купола, рис. 5.

Интенсификация процесса раскрытия кромки и связанное с этим быстрое увеличение площади входного отверстия купола приводило к увеличению аэродинамической нагрузки на парашют, а при достаточном скоростном напоре способствовало его разрушению.

2. Физической причиной повышения максимальной аэродинамической нагрузки и разрушения парашюта при ярко выраженной асимметрии контура кромки входного может быть следующая.

В определенный момент, когда с одной из сторон некоторая часть кромки случайно окажется вытянутой на всю длину и геометрия кромки станет явно асимметричной, симметрия обтекания нарушается, появляется момент аэродинамической силы относительно коуша парашюта, что приводит к смещению купола и появлению угла атаки. При этом относительно своего коуша парашют смещается в сторону, противоположную выдутой наружу части кромки купола.

Осевая линия тока (ОЛТ) потока, поступающего под купол, смещается в сторону выдутой наружу части кромки купола и точка притекания (торможения) потока на внутренней поверхности купола смещается от полюса к кромке. Таким образом, нарушается симметрия течения потока под куполом парашюта, что является следствием асимметрии контура кромки купола.

При симметричном формообразовании контура кромки входного отверстия разделительная линия тока потока, входящего по оси симметрии

под купол, оканчивается точкой торможения в окрестности полюсной части купола, усиленной мощным силовым (кольцевым и радиальным) каркасом большой плотности.

В силу конструктивных особенностей парашюта в полюсной части купола сосредоточено наибольшее количество лент силового (кольцевого и радиального каркасов) большой прочности. Это делает полюсную часть купола достаточно плотной, массивной, рассчитанной на то, чтобы выдержать сильный ударный импульс скоростного напора потока, входящего под купол. То есть при проектировании парашюта как бы уже заранее закладывается гипотеза о строго симметричном наполнении купола и положении точки торможения строго в полюсной части купола.

Итак, при симметричном обтекании динамический удар от скоростного напора, определяемый положением точки торможения потока, приходится на усиленную часть купола и купол не разрушается.

При смещении по поверхности купола от полюса к кромке, с целью обеспечения приемлемых массовых (объемных) показателей парашюта, плотность кольцевого и радиального каркасов конструктивно уменьшается, уменьшается и его прочность.

При асимметричном формообразовании контура кромки входного отверстия разделительная линия тока входящего под купол потока отклоняется от оси симметрии купола и оканчивается точкой торможения уже не в окрестности полюсной части купола, усиленной мощным силовым каркасом большой плотности, а значительно ближе к кромке купола, где плотность и прочность силового каркаса уже значительно меньше. При этом сильно искажается и боковая геометрия купола парашюта, что показано на рис. 6.

То есть динамический удар от скоростного напора, эффективность которого определяется положением точки торможения потока, приходится уже на ослабленную часть купола и примыкающую к ней группу строп, где парашют легко может разрушиться и потерять свою несущую способность.

Итак, при выдувании части кромки наружу и асимметричном наполнении купола точка торможения смещается от полюса вниз, в более ослабленную по прочности зону купола.

При относительно больших скоростных напорах ударный импульс потока (скоростного напора), прошедшего через площадь выдутой части кромки купола, может привести к разрушению более слабой по прочности зоны купола и примыкающей к ней группы строп. Это может происходить при нагрузках, регистрируемых тензодатчиком в коуше парашюта, значительно меньших расчетной разрушающей нагрузки (несущей способности парашюта). Описанный выше эффект обладает высокой статистической устойчивостью при больших скоростных напорах и различных удельных массовых нагрузках на парашют.

Это можно объяснить следующим.

Разрушает парашют не величина нагрузки  $R_{\max}$ , регистрируемая в коуше, а ударный импульс потока, формирующий перепад давления  $\Delta p$ , действующий на локальную, смещенную от полюса, а поэтому конструктивно ослабленную часть купола парашюта, обладающую значительно меньшей несущей способностью, чем парашют в целом. Следовательно, при наполнении и возрастании нагрузки на парашют перепад давления  $\Delta p$  (определяемый величиной скоростного напора) в ослабленной зоне купола (с меньшей плотностью

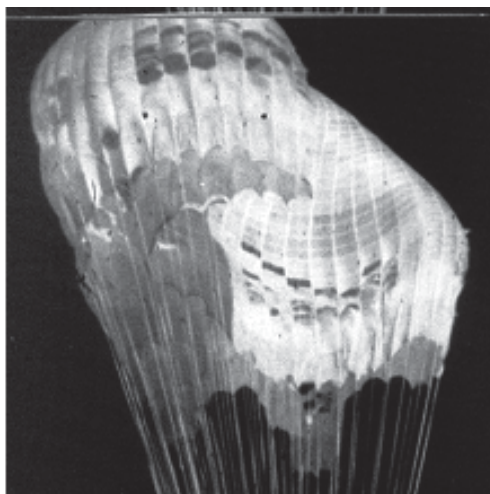
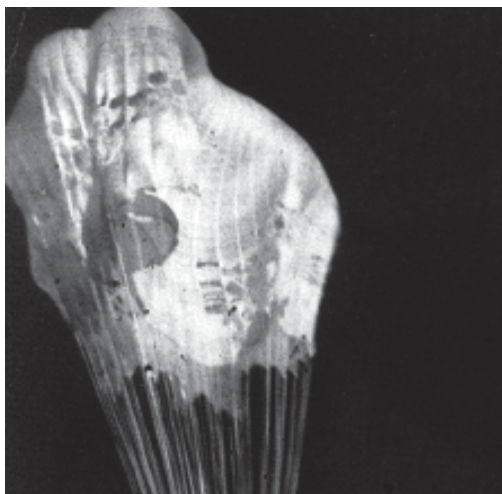


Рис. 6. Боковая геометрия купола при асимметричном (косом) наполнении



и прочностью силового каркаса) может достичь разрушающего парашют значения раньше, чем кривая нагрузки  $R(t)$  достигнет своего максимума  $R_{max}$ .

Этим и объясняется тот факт, что максимальная нагрузка, регистрируемая в коше парашюта с асимметричным контуром при его разрушении, может быть значительно ниже его расчетной несущей способности.

Отсюда следует необходимость исследования и изучения процессов формирования асимметрии контура кромки купола парашюта в процессе его наполнения. Возникает вопрос о необходимости создания эффективного инструмента для исследования и изучения процессов формирования асимметрии кромки и их количественной оценки, например с помощью некоторого специально введенного коэффициента асимметрии  $K_{ac}$ .

Установив предельно допустимое граничное значение для величины  $K_{ac}$ , можно, по степени удаления от этой границы, судить о тенденции купола к асимметричному формообразованию кромки и, следовательно, вероятной предрасположенности данного парашюта к асимметричному наполнению и вытекающим отсюда негативным последствиям.

В настоящее время разработана методика оценки коэффициента асимметрии в процессе раскрытия парашюта [3], которая на сегодня, насколько известно авторам, является первым инструментом исследования и количественной оценки степени асимметрии формообразования контура кромки входного отверстия купола в процессе раскрытия. Оценка погрешностей метода [3] показывает достаточную для практики степень точности и позволяет определять оптимальные комбинации параметров, участвующих в процессе измерений, минимизирующих погрешности измерений. Количественная оценка процесса асимметрии формообразования контура кромки входного отверстия купола выполняется путем вычисления коэффициента асимметрии  $K_{ac} = \frac{r_{max}}{r_{min}}$ . Здесь  $r_{max}$  и  $r_{min}$  — радиусы двух concentрических окружностей, соответственно описанной и вписанной в выпуклую область асимметричного выдувания контура кромки купола, рис. 7.

Метод построения выпуклой области и определения радиусов подробно описан в методике [3]. Радиус  $r_{max}$  пропорционален скорости распрям-

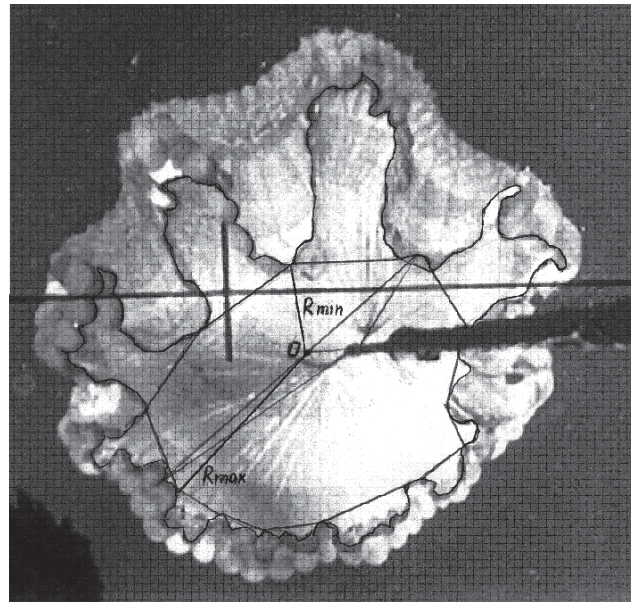


Рис. 7. Пояснение к методике [3]

ления кромки выдутой наружу части купола,  $r_{min}$  — скорости раскрытия центрального входного отверстия, если бы процесс формообразования контура кромки был полностью симметричным, что соответствует мягкой динамике процесса наполнения.

Для выяснения физического смысла коэффициента асимметрии выполним следующие преобразования:

$$K_{ac} = \frac{r_{max}}{r_{min}} = \sqrt{\frac{\pi \left(\frac{r_{max}}{r_{min}}\right)^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{S_{max}}{S_{min}}} = \sqrt{\frac{\rho V^2 S_{max}}{\rho V^2 S_{min}}} = \sqrt{\frac{m_{max} V}{m_{min} V}}$$

Здесь  $S_{max}$  — примерно соответствует полной площади входного отверстия;

$S_{min}$  — площадь окружности в центре входного отверстия, получаемой обрезкой лучей (лепестков) звездообразной формы контура входного отверстия;

$m_{max}, m_{min}$  — массы потоков воздуха, проходящих через входные отверстия площадями  $S_{max}$  и  $S_{min}$  соответственно;

$m_{max} V, m_{min} V$  — ударные импульсы сил от воздействия скоростного напора потока на поверхность купола.

То есть коэффициент асимметрии представляется собой корень из отношения ударных импульсов от воздействия скоростного напора потока (формирующих локальные перепады давления по несущей поверхности) для купола с асимметрией и симметрично наполняющегося купола при тех же начальных условиях по скорости.

С другой стороны, коэффициент асимметрии можно рассматривать как отношение площади эллипса области с выдутой наружу кромкой к площади окружности в центре входного отверстия, соответствующей входному отверстию при нормальном, симметричном наполнении:

$$K_{ac} = \frac{r_{max}}{r_{min}} = \frac{\pi r_{min} r_{max}}{\pi r_{min}^2} = \frac{S_{элл}}{S_{min}} = \frac{\rho V^2 S_{элл}}{\rho V^2 S_{min}} = \frac{m_{элл} V}{m_{min} V}.$$

Здесь коэффициент асимметрии представляет собой отношение ударных импульсов от воздействия скоростного напора потока (формирующих перепады давления по несущей поверхности) для купола с асимметрией и симметрично наполняющегося купола при тех же начальных условиях по скорости.

Чем больше величина коэффициента асимметрии, тем больше купол предрасположен к асимметричному наполнению, тем больше различаются ударные импульсы, в связи с чем возрастает вероятность разрушения купола и строп в зоне локального нагружения от перепада давления  $\Delta p$  при нагрузках, измеряемых тензодатчиком в коуше парашюта, значительно меньших его несущей способности.

С другой стороны, нужно учесть, что точка торможения потока, притекающего к поверхности из-за наличия угла атаки купола, как косвенно подтверждает анализ кинограмм, существенно смещается от полюса к кромке, в ослабленную (с меньшей плотностью каркаса) зону купола парашюта. Это приводит к ее интенсивному нагружению большим ударным импульсом и к повышению вероятности повреждения купола при относительно малых нагрузках, регистрируемых тензодатчиком в коуше парашюта.

Чем больше величина коэффициента асимметрии, тем больше предрасположенность данного парашюта к ударному асимметричному нагружению и, как следствие, возможному его разрушению при относительно малых аэродинамических нагрузках.

## Выводы

Представленные в данной работе результаты дают возможность:

- исследования и изучения процессов асимметричного формообразования входных контуров парашютов с помощью коэффициента асимметрии, имеющего четкий физический смысл;
- сравнения с помощью коэффициента асимметрии динамики так называемого «косого» наполнения различных парашютов;
- выдачи рекомендаций конструктору и испытателю о необходимости доработки конструкции парашюта с целью снижения вероятности возможных разрушений конструкции;
- дальнейшего совершенствования существующей методики расчета парашюта на прочность.

## Библиографический список

1. *Иванов П.И.* Аэродинамические характеристики парашютов больших площадей с конструктивной проницаемостью: Дисс. ... канд. техн. наук. — М.: НИИ АУ, 1986. — 202 с.
2. *Иванов П.И.* Летные испытания парашютных систем. — Феодосия: Гранд—С, 2001. — 332 с.
3. Методика ВКИБ.16659 оценки коэффициента асимметрии в процессе раскрытия парашюта. — Феодосия: НИИ АУС, 2006. — 45 с.
4. *Лобанов Н.А.* Основы расчета и конструирования парашютов. — М.: Машиностроение, 1965. — 363 с.
5. *Лукин А.М.* Парашютный спорт: Учеб. пособие. — М.: Оборонгиз, 1952. — 224 с.
6. *Агронник А.Г., Эгенбург Л.И.* Развитие авиационных средств спасения. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
7. *Лялин В.В., Морозов В.И., Пономарев А.Т.* Парашютные системы. Проблемы и методы их решения: Монография. — М.: Физматлит, 2009. — 576 с.
8. *Рысев О.В., Пономарев А.Т., Васильев М.И., Вишняк А.А., Днепров И.В., Мосеев Ю.В.* Парашютные системы. — М.: Наука; Физматгиз, 1996. — 288 с.
9. *Морозов В.И., Пономарев А.Т., Рысев О.В.* Математическое моделирование сложных аэроупругих систем. — М.: Физматлит, 1995. — 736 с.
10. *Шевляков Ю.А., Тищенко В.Н., Темненко В.А.* Динамика парашютных систем. — Киев-Одесса: Высшая школа, 1985. — 159 с.
11. *Алексеев С.М., Балкинд Я.В., Гершкович А.М., Еремин В.С., Повицкий А.С., Уманский Н.Л.* Средства спасения экипажа самолета. — М.: Машиностроение, 1975. — 432 с.
12. *Жорник Д.Т., Лушников К.В., Пясецкая Г.Б., Стасевич Р.А., Сторчиенко П.А., Ткаченко Е.В.* Теория и практика подготовки парашютистов. — М.: Изд-во ДОСААФ, 1969. — 399 с.
13. *Антоненко А.И., Рысев О.В., Фатыхов Ф.Ф., Чуркин В.М., Юрцев Ю.Н.* Динамика движения парашютных систем. — М.: Машиностроение, 1982. — 152 с.



14. *Береговой Г.Т., Тищенко А.А., Шибанов Г.П., Ярополков В.И.* Безопасность космических полетов. — М.: Машиностроение, 1977. — 264 с.
15. *Баженов В.И., Осин М.И.* Посадка космических аппаратов на планеты. — М.: Машиностроение, 1978. — 159 с.
16. *Чуркин В.М.* Устойчивость и колебания парашютных систем: Монография. — М.: Издательская группа URSS, 2017. — 232 с.
17. *Чуркин В.М.* Динамика парашютных систем на этапе спуска. — М.: МАИ-ПРИНТ, 2008. — 184 с.
18. *Чуркин В.М., Серпичева Е.В., Силантьев В.М.* К оценке влияния аэродинамики груза на свободные колебания парашютной системы // Труды МАИ. 2003. №12. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=34455>
19. *Морозов В.И., Пономарев А.Т., Животов Н.П., Морозов А.А.* Парашютно-реактивные системы. Состояние и перспективы развития // Полёт. 2000. № 11. С. 27-37.
20. *Чуркин В.М., Чуркина Т.Ю.* К анализу свободных колебаний парашютной системы с упругими стропами // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 3. С. 143-148.

## ASYMMETRY IN THE PARACHUTE CANOPY FILLING PROCESS

Ivanov P.I. \*, Kurinni S.M. \*\*, Krivorotov M.M. \*\*\*

*Research Institute of Aeroelastic Systems,  
85, Garnaeva str., Feodosia, Crimea Republic, 298112, Russia*

*\* e-mail: Ivanovpetr@rambler.ru*

*\*\* e-mail: Kurinniys@yandex.ru*

*\*\*\* e-mail: Krivorotovmm@mail.ru*

### Abstract

The main purpose of the work consists in studying dynamics and specificity of filling the large area parachutes of the main class employed for rescuing re-entry spacecraft as well as large weight cargoes airdrop of civil and military hardware. The problematic issues here are these associated with the occurrence of large aerodynamic load values while parachute dynamic filling, which may lead to premature loss of its strength. The issues of long delay in the filling process, which increases the path and height loss and is very dangerous while low-height airdrop, are of no less importance. The article tackles the issues associated with the filling process deviation from the rated value, such as asymmetry occurring while the parachute canopy filling.

The dependence between the filling time and aerodynamic load on the parachute, i.e. maximum drag force value, was established experimentally. The article demonstrates that with the parachute filling time increasing the aerodynamic loads on the parachute and overloads on the object decreased, while the filling path increased.

The relationship between the edge contour of the canopy inlet orifice shaping, filling time and aerodynamic loads on the parachute was established. One of the possible causes of both deceleration and intensive canopy filling dynamics, consisting in substantial asymmetry of the shaping process of the

edge contour of the parachute canopy inlet orifice, was revealed.

The authors introduced the notion of the canopy contour shaping asymmetry coefficient at the intensive dynamics of the canopy filling process, as an effective tool for studying the processes of canopy edge shaping processes and their quantitative evaluation.

Setting the rated boundary value for the asymmetry coefficient it is possible to make judgments on the tendency of the canopy shaping by the degree of distance from this boundary. Thus, it will show the propensity of the specified parachute for the asymmetric filling and the ensuing negative consequences, associated with intensive dynamics of the filling process and load-carrying capacity loss. Practically, the asymmetry coefficient represents the square root of the ratio of impact pulses from the air-velocity pressure (which form local pressure drops along the carrying surface) for the canopy with asymmetry, and a canopy being filled symmetrically, under the same initial conditions on speed.

The larger the coefficient of asymmetry, the larger the dome is predisposed to asymmetric filling, the more shock impulses differ. In this association, the probability of the canopy and shrouds destruction increases in the local loading area from the pressure drop at the loads being measured by the strain sensor

in the parachute thimble, which are substantially lower than its load-bearing capacity.

**Keywords:** parachute system, parachute canopy asymmetric filling, aerodynamic loads, contour edge forming process.

## References

- Ivanov P.I. *Aerodinamicheskie kharakteristiki parashyutov bol'shikh ploshchadei s konstruktivnoi pronitsaemost'yu* (Aerodynamic characteristics of parachutes of large areas with structural permeability), Doctor's thesis, Moscow, NII AU, 1986, 202 p.
- Ivanov P.I. *Letnye ispytaniya parashyutnykh sistem* (Flight testing of parachute systems), Feodosiya, Grand-S, 2001, 332 p.
- Metodika VKIB.16659 otsenki koeffitsienta asimmetrii v protsesse raskrytiya parashyuta* (The method VCIB.16659 estimates of the coefficient of asymmetry in the process of opening the parachute), Feodosiya, NII AUS, 2006, 45 p.
- Lobanov N.A. *Osnovy rascheta i konstruirovaniya parashyutov* (Basics of calculation and design of parachutes), Moscow, Mashinostroenie, 1965, 363 p.
- Lukin A.M. *Parashyutnyi sport* (Parachuting), Moscow, Oborongiz, 1952, 224 p.
- Agrobnik A.G., Egenburg L.I. *Razvitie aviatsionnykh sredstv spaseniya* (Development of aviation means of salvation), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 256 p.
- Lyalin V.V., Morozov V.I., Ponomarev A.T. *Parashyutnye sistemy. Problemy i metody ikh resheniya* (Parachute system. Problems and methods of their solution), Moscow, Fizmatlit, 2009, 576 p.
- Rysev O.V., Ponomarev A.T., Vasil'ev M.I., Vishnyak A.A., Dneprov I.V., Moseev Yu.V. *Parashyutnye sistemy* (Parachute system), Moscow, Nauka. Fizmatgiz, 1996, 288 p.
- Morozov V.I., Ponomarev A.T., Rysev O.V. *Matematicheskoe modelirovanie slozhnykh aerouprugikh sistem* (Mathematical modeling of complex aeroelastic systems), Moscow, Fizmatlit, 1995, 736 p.
- Shevlyakov Yu.A., Tishchenko V.N., Temnenko V.A. *Dinamika parashyutnykh sistem* (Dynamics of parachute systems), Kiev-Odessa, Vysshaya Shkola, 1985, 159 p.
- Alekseev S.M., Balkind Ya.V., Gershkovich A.M., Eremin V.S., Povitskii A.S., Umanskii N.L. *Sredstva spaseniya ekipazha samoleta* (Means of saving the crew), Moscow, Mashinostroenie, 1975, 432 p.
- Zhornik D.T., Lushnikov K.V., Pyasetskaya G.B., Stasevich R.A., Storchenko P.A., Tkachenko E.V. *Teoriya i praktika podgotovki parashyutistov* (Theory and practice of training parachutists), Moscow, DOSAAF, 1969, 399 p.
- Antonenko A.I., Rysev O.V., Fatykhov F.F., Churkin V.M., Yurtsev Yu.N. *Dinamika dvizheniya parashyutnykh sistem* (Dynamics of parachute systems movement), Moscow, Mashinostroenie, 1982, 152 p.
- Beregovoi G.T., Tishchenko A.A., Shibanov G.P., Yaropolov V.I. *Bezopasnost' kosmicheskikh poletov* (Safety of space flights), Moscow, Mashinostroenie, 1977, 264 p.
- Bazhenov V.I., Osin M.I. *Posadka kosmicheskikh apparatov na planety* (Landing of the spacecraft on the planet), Moscow, Mashinostroenie, 1978, 159 p.
- Churkin V.M. *Ustoichivost' i kolebaniya parashyutnykh sistem* (Stability and oscillations of parachute systems), Moscow, URSS, 2017, 232 p.
- Churkin V.M. *Dinamika parashyutnykh sistem na etape spuska* (Dynamics of parachute systems at the stage of descent), Moscow, MAI-PRINT, 2008, 184 p.
- Churkin V.M., Serpicheva E.V., Silant'ev V.M. *Trudy MAI*, 2003, no. 12. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=34455>
- Morozov V.I., Ponomarev A.T., Zhivotov N.P., Morozov A.A. *Polet*, 2000, no. 11, pp. 27-37.
- Churkin V.M., Churkina T.Yu. The Analysis of free oscillations parachute Systems with elastic line. *Aerospace MAI Journal*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 143-148.