

УДК 533.666.2: 629.7

П. И. ИВАНОВ

Херсонский национальный технический университет, Украина

ОСНОВНОЙ ЭТАП ПРОЦЕССА НАПОЛНЕНИЯ ПАРАШЮТОВ БОЛЬШИХ ПЛОЩАДЕЙ

В работе рассматривается основной этап – один из важнейших этапов процесса наполнения парашютов больших площадей основного класса. Приводятся и обосновываются причины, заставляющие разработчиков парашютов больших площадей проводить детальные исследования основного этапа. Приводятся некоторые экспериментальные факты по результатам летных испытаний парашютов основного класса площадей $500 \div 1500 \text{ м}^2$. Выявлены факторы, которые могут быть возможными причинами замедления или ускорения процесса наполнения парашютов на основном этапе. Приведены базовые размерные и безразмерные эмпирические зависимости, характеризующие динамику процесса наполнения куполов больших площадей на основном этапе.

Ключевые слова: парашюты больших площадей, основной класс, основной этап, процесс наполнения.

Введение

Парашюты больших площадей ($500 \div 1500 \text{ м}^2$) сегодня находят все большее и большее применение при десантировании тяжелых грузов и боевой техники, спасении отработанных ракетных топливных блоков, ступеней ракетносителей, спасении возвращаемых на Землю и спускаемых на другие планеты Солнечной системы космических аппаратов.

Как показывают результаты летных испытаний, процесс наполнения парашюта большой площади четко разделяется на три этапа [1]: подготовительный, основной, заключительный.

Подготовительным называется этап, начинающийся с момента полного вытягивания купола и строп на всю длину и заканчивающийся моментом, когда купол в своей профильной проекции в первый раз примет геометрию «полусфера – усеченный конус» [1, 2].

Далее начинает протекать основной этап, в процессе которого в профильной проекции купола геометрия «полусфера – усеченный конус» последовательно преобразуется в полусферическую (или полуэллипсоидную) за счет постепенного исчезновения конической части. Основной этап по времени занимает от 0,7 до 0,9 всего безразмерного времени наполнения (если его принять за единицу).

Завершается процесс наполнения заключительным этапом, сущность которого состоит в переполнении купола вследствие большой динамики его раскрытия и затухающих колебаний полностью наполненного купола около его положения равновесия.

В данной работе подробно рассматривается только основной этап процесса наполнения.

Постановка задачи

Цель настоящей работы – обсуждение результатов экспериментальных исследований основного этапа процесса наполнения парашютных систем больших площадей основного класса и получение ряда эмпирических зависимостей, что связано с важной теоретической и практической задачей изучения динамики процесса раскрытия и построения в перспективе его математической модели. Последние исследования и публикации, на которые опирается автор данной статьи, представлены в работах [1-3].

Основная часть

Основной этап наиболее хорошо прослеживается у парашютов основного класса больших площадей с малой величиной удельной массовой нагрузки на парашют. Чем больше площадь купола парашюта и меньше величина удельной массовой нагрузки, тем более ярко выражен основной этап.

На основном этапе реализуется максимум аэродинамической нагрузки, действующей на парашют в процессе его раскрытия, в связи с чем, большая часть разрушений купола и строп парашюта приходится именно на основной этап.

На основном этапе может реализоваться длительное наполнение или даже ненаполнение купола парашюта большой площади.

Для описания процесса раскрытия парашюта система уравнений движения системы объект-парашют должна быть дополнена уравнениями аэродинамики, которые должны были бы позволить определить изменение геометрии купола в процессе его наполнения. Однако, учитывая сложность дваж-

ды нестационарного процесса (изменяется как геометрия купола, так и скорость движения системы), сегодня пока еще не удается получить их решение для наполняющегося парашюта.

В этой связи возникла идея – вместо уравнений аэродинамики дополнить и замкнуть систему уравнений движения эмпирическими уравнениями, полученными из эксперимента и описывающими изменение геометрии купола в процессе его наполнения, что по существу должно быть одним из интегралов (решений) дифференциальных уравнений аэродинамики.

Для построения математической модели процесса наполнения парашюта основного класса большой площади весьма важно знать такие характеристики, как: количественные изменения площадей входного и миделевого сечений купола во времени; качественные изменения геометрии контуров кромки и миделевого сечения, ортогональных к оси парашюта в процессе его раскрытия.

Детальные исследования кинограмм и зависимостей площадей входного и миделевого сечений наполняющихся осесимметричных куполов больших площадей по методике [3] позволяют выдвинуть гипотезу о том, что на основном этапе процесса наполнения может быть принята математическая модель пропорциональности производной от массы воздуха m под куполом по времени t массе этого воздуха, поступающего под купол:

$$\frac{dm}{dt} = k_1 m, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности.

Поскольку поток массы под купол пропорционален площади F входного (или миделевого) сечений, то, вероятно, аналогичная зависимость может сохраняться и для процесса изменения площади сечения купола во времени:

$$\frac{dF}{dt} = kF. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение (2) является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка и имеет общее решение вида:

$$F = Ce^{kt},$$

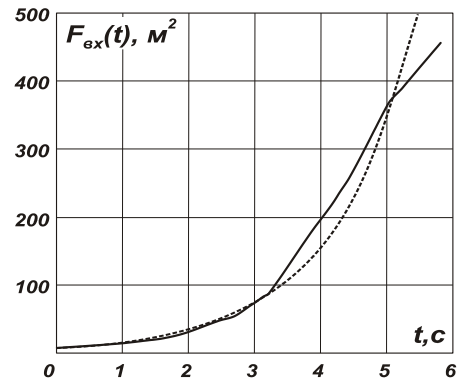
где C – произвольная постоянная. Используя начальное условие: при $t=0$, $F = F_0$, получим: $C = F_0$, и окончательно:

$$F(t) = F_0 e^{kt}. \quad (3)$$

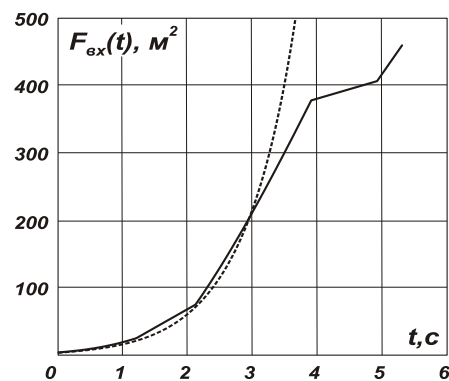
Последняя зависимость проверялась на экспериментальных кривых, построенных для законов

изменения площадей входных и миделевых сечений осесимметричных куполов.

На рисунках 1-2 представлены экспериментальные кривые, полученные по методике [3] для зависимостей изменения площадей входного и миделевого сечений во времени куполов парашютов площадью 1000 м^2 .



а



б

Рис. 1. Зависимости для изменения во времени площадей входных сечений купола площадью 1000 м^2 :

а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 3

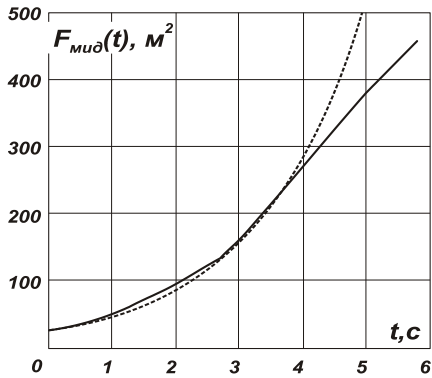
Купола были изготовлены из ткани арт. 56004П и арт. 56005П со средней воздухопроницаемостью $500 \div 600 \text{ л/м}^2 \text{ с}$ и не имели конструктивной воздухопроницаемости. Было взято два летных эксперимента (№ 1 и № 3), проведенных на аналогичных режимах: $V_0 \approx 55 \text{ м/с}$, $H \approx 2800 \text{ м}$ с грузом массой $M \approx 2500 \text{ кг}$. Это соответствует принятым в практике парашюта значениям безразмерных критериев:

$$\text{– числа Фруда } Fr = \frac{g\sqrt{F_{\Pi}}}{V_0^2} = 0,1 \text{ и}$$

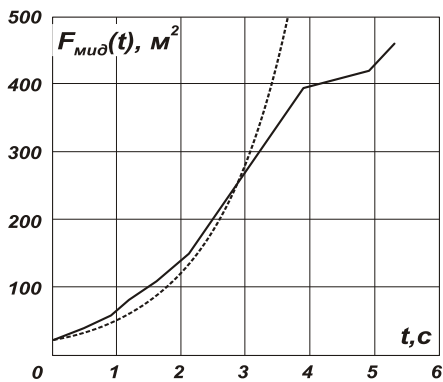
$$\text{– числа Ньютона } N = \frac{\rho F_{\Pi} \sqrt{F_{\Pi}}}{M} = 12,65,$$

где g – ускорение свободного падения;

$F_{П}$ – площадь купола парашюта в раскрые;
 V_0 – скорость системы объект-парашют в момент начала наполнения;
 ρ – плотность воздуха на высоте H раскрытия парашюта;
 M – масса системы объект-парашют.
 Здесь сплошной линией показана реальная кривая, а пунктирной – математическая экспоненциальная модель.



а



б

Рис. 2. Зависимости для изменения во времени площадей миделевых сечений купола площадью 1000м²:

а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 3

Были получены следующие экспериментальные аппроксимирующие зависимости для купола парашюта площадью 1000 м², основа которого была изготовлена из капроновой ткани арт. 56004П и арт. 56005П, а отношение длины строп к диаметру купола было равно единице.

Эксперимент № 1:

- входное сечение: $F_{вх}(t) = 7e^{0,78t}$;
- миделевое сечение: $F_{мид}(t) = 26e^{0,6t}$.

Эксперимент № 3:

- входное сечение: $F_{вх}(t) = 5e^{1,25t}$;
- миделевое сечение: $F_{мид}(t) = 22e^{0,85t}$.

Здесь коэффициенты, стоящие перед экспонентой, представляют собой начальные значения площадей входного и миделевого сечений.

Коэффициенты, стоящие в показателях экспонент, характеризуют интенсивность динамики процесса наполнения.

Как видно, разброс в показателях экспонент для входных сечений значительно больше, чем для миделевых, что объясняется существенной неодинаковостью формообразования (геометрии) кромки входного сечения в процессе наполнения.

Коэффициенты, характеризующие интенсивность динамики процесса изменения площади входного сечения примерно в 1,3÷1,5 раз выше, чем коэффициенты, характеризующие интенсивность динамики процесса изменения площади миделевого сечения.

Эти же зависимости, но записанные уже в безразмерном виде, имеют вид:

а) эксперимент № 1:

- входное сечение: $\bar{F}_{вх}(\bar{t}) = 0,015e^{4,6\bar{t}}$;
- миделевое сечение: $\bar{F}_{мид}(\bar{t}) = 0,056e^{3,6\bar{t}}$.

б) эксперимент № 3:

- входное сечение: $\bar{F}_{вх}(\bar{t}) = 0,011e^{6,8\bar{t}}$;
- миделевое сечение: $\bar{F}_{мид}(\bar{t}) = 0,048e^{4,8\bar{t}}$.

Здесь черта над соответствующим символом обозначает отношение текущей площади к площади соответствующего сечения полностью наполненного купола, и отношение текущего времени к времени полного наполнения купола:

$$\bar{F}_{вх} = F_{вх} / F_{ПН.вх},$$

$$\bar{F}_{мид} = F_{мид} / F_{ПН.мид}, \quad \bar{t} = t / t_{ПН}.$$

В обработку вошло 5 зачетных летных экспериментов с куполом площадью 1000 м². Анализ полученных безразмерных зависимостей для площадей входного и миделевого сечений показал, что в момент окончания подготовительного и начала основного этапа процесса наполнения площадь входного сечения составляет 1÷2%, а площадь миделевого сечения составляет 5÷7% от площади соответствующего сечения полностью наполненного купола. Коэффициент в показателе экспоненты для функции $\bar{F}_{вх}(\bar{t})$ изменяется в интервале от 3,6 до 6,8, а для функции $\bar{F}_{мид}(\bar{t})$ – в интервале от 3,45 до 5,5. Нужно также отметить, что все обезразмеренные кривые для площади входного сечения различных экспери-

ментов достаточно близки друг к другу только в интервале значений безразмерного времени от 0 до 0,2. Далее начинаются значительные расхождения.

Расхождения в кривых для площади входного сечения в различных эксперимента обусловлены характером формообразования контура кромки.

Если геометрия контура кромки входного сечения купола близка к осесимметричной (относительно оси симметрии купола) с ярко выраженной звездообразностью по всему контуру, то динамика процесса наполнения будет достаточно плавной, аэродинамическая нагрузка на парашют, как правило, будет относительно небольшой. Течение под куполом в этом случае имеет осевую симметрию.

Если же геометрия контура кромки явно асимметрична так, что звездообразность явно формируется только на одной половине контура, то динамика процесса наполнения будет энергичной и аэродинамическая нагрузка на парашют может быть весьма значительной. На режимах, близких к предельным, это может привести к повреждениям или даже к разрушениям купола и строп парашюта. Течение под куполом в этом случае не имеет осевой симметрии.

Возвращаясь к анализу характера поведения обезразмеренных кривых, нужно отметить следующее. В процессе обработки материалов испытаний было также обнаружено, что, если в ряде случаев в функцию для безразмерной площади миделевого сечения добавить линейный член, т.е. представить ее в виде: $\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = a e^{k\bar{t}} + b\bar{t}$, где $a, b, k = \text{const}$, то это может значительно продлить интервал достаточно хорошего совпадения аппроксимирующей кривой с массивом экспериментальных точек.

Физически это означает, что в законах изменения площадей $\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t})$ и $\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t})$ нет и не может быть полного подобия.

Как видим, вариации в значениях коэффициентов соответствующих площадей довольно велики, что говорит о существенной нестабильности процесса наполнения купола большой площади.

Возвращаясь к графикам, видим, что аппроксимация реального процесса экспонентой вида (3) достаточно хороша только до середины (по времени), а точнее, до $t_c = (0,55 \pm 0,05)$ от времени основного этапа процесса наполнения $(t_n - t_{\text{п}})$, где t_n – время полного наполнения купола (с учетом подготовительного этапа), а $t_{\text{п}}$ – время протекания подготовительного этапа.

Далее начинаются расхождения и довольно значительные. Это связано с тем, что зависимость (3) никак не учитывает сдерживающего процесс наполнения влияния горизонтальных составляющих

сил натяжения строп, а также не учитывает звездообразность кромки наполняющегося купола, следствием чего является появление больших провалов на невыполненной части купола, на которых внешний поток, поворачивая и тормозясь, совершает работу по задержке процесса раскрытия, рис. 3.

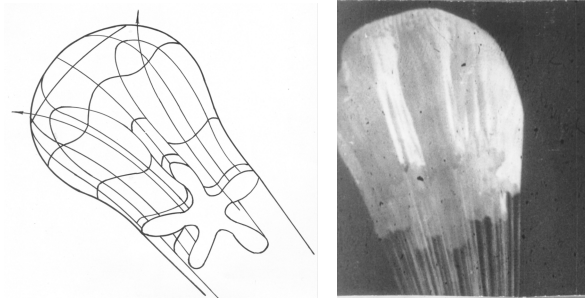


Рис. 3. Геометрия купола на основном этапе процесса наполнения

Если разрабатывается математическая модель для расчета максимальной (аэродинамической) нагрузки в процессе наполнения, действующей на систему объект-парашют основного класса, имеющую достаточно большое число Ньютона (это, например, парашюты для мягкой посадки с использованием только системы амортизации), то у них фаза максимальной нагрузки реализуется в начале первой половины процесса наполнения и зависимости (3) в этом случае вполне достаточно.

Если же число Ньютона относительно не велико (это, например, системы парашютно-реактивной посадки с грузами большой массы), то у них фаза максимальной нагрузки обычно реализуется во второй половине процесса наполнения и зависимости (3) в этом случае явно недостаточно. В этом случае важен второй участок зависимостей площадей сечений входа и миделя купола.

Второй участок основного этапа процесса наполнения может быть с достаточной для практики степенью точности аппроксимирован, как показывают результаты обработки экспериментов, прямой линией.

Пусть

$$F_{0\text{в}}(t) = F_{0\text{вх}} e^{k_{\text{вх}} \cdot t_c \cdot (t_n - t_{\text{п}})},$$

$$F_{0\text{м}}(t) = F_{0\text{мид}} e^{k_{\text{мид}} \cdot t_c \cdot (t_n - t_{\text{п}})},$$

тогда уравнение прямой, аппроксимирующей второй участок процесса наполнения купола на основном этапе имеет вид:

– входное сечение:

$$F_{\text{вх}}(t) = F_{0\text{в}}(t) + \frac{(F_{\text{пн.вх}} - F_{0\text{в}}(t))(t - t_c \cdot (t_n - t_{\text{п}}))}{(1 - t_c)(t_n - t_{\text{п}})},$$

– миделевое сечение:

$$F_{\text{мид}}(t) = F_{0\text{мид}} + \frac{(F_{\text{ПН.мид}} - F_{0\text{мид}})(t - t_c \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{п}}))}{(1 - t_c)(t_{\text{н}} - t_{\text{п}})}$$

Здесь $F_{0\text{вх}}$, $F_{0\text{мид}}$ – значение площадей входного и миделевого сечений в момент начала основного этапа процесса наполнения; $F_{\text{ПН.вх}}$, $F_{\text{ПН.мид}}$ – значение площадей входного и миделевого сечений в момент полного наполнения купола; $k_{\text{вх}}$, $k_{\text{мид}}$ – коэффициенты, стоящие в показателях экспонент, характеризующие интенсивность динамики процесса наполнения для площадей входа и миделя соответственно.

Эти расчетные формулы справедливы при условии, что второй участок основного этапа процесса наполнения в конце не имеет резкого излома, обусловленного специфической особенностью больших куполов, связанной с подскладыванием кромки на уже практически полностью выполненном куполе.

Но это подскладывание входит уже в третий, заключительный этап процесса наполнения и в данной работе не рассматривается.

В эксперименте № 1 такое подскладывание практически отсутствует (рис. 1, 2), в эксперименте № 3 – оно прослеживается явно.

Расчеты, проведенные по последним формулам с учетом того, что в первом эксперименте

$$(t_{\text{н}} - t_{\text{п}}) = 5,8 \text{ с}; t_c = 0,55; F_{\text{ПН.вх, мид}} \approx 460 \text{ м}^2,$$

дали следующие результаты для второго участка основного этапа процесса наполнения в эксперименте № 1:

$$F_{\text{вх}}(t) = -374,94 + 143t;$$

$$F_{\text{мид}}(t) = -170,48 + 108,7t.$$

Сходимость аппроксимирующей прямой с результатами эксперимента достаточно хорошая.

В безразмерном виде второй участок эксперимента № 1 можно представить следующими безразмерными зависимостями:

$$\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t}) = -0,83 + 1,85\bar{t};$$

$$\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = -0,36 + 1,38\bar{t}.$$

В третьем эксперименте имеется характерное подскладывание кромки купола в конце второго участка основного этапа процесса наполнения.

Для расчета линейных зависимостей $F_{\text{вх}}(t)$, $F_{\text{мид}}(t)$ на втором участке основного процесса наполнения в эксперименте № 3 до точки подскладывания можно воспользоваться формулами линейных зависимостей. В результате получим:

$$F_{\text{вх}}(t) = -348,6 + 188,05t;$$

$$F_{\text{мид}}(t) = -197,26 + 152,85t.$$

В безразмерном виде второй участок эксперимента № 3 можно представить следующими безразмерными зависимостями:

$$\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t}) = -0,6 + 1,9\bar{t};$$

$$\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = -0,31 + 1,59\bar{t}.$$

Подводя итог проведенным выше исследованиям по определению площадей входного и миделевого сечений купола большой площади по двум участкам, можно окончательно предложить следующие безразмерные осредненные эмпирические зависимости для построения математической модели процесса раскрытия парашюта большой площади:

а) входное сечение:

- первый участок: $\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t}) = 0,013e^{5,5\bar{t}};$
- второй участок: $\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t}) = -0,6 + 1,58\bar{t};$

б) миделевое сечение:

- первый участок: $\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = 0,05e^{4,0\bar{t}};$
- второй участок: $\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = -0,3 + 1,33\bar{t}.$

Стыковка участков для входного сечения выполняется при значении безразмерного времени $\bar{t} = 0,55$, а для миделевого сечения выполняется при $\bar{t} = 0,5$. Предложенные выше зависимости можно использовать при условиях и на режимах функционирования парашютов основного класса больших площадей, соответствующих числам $N = 10 \div 15$, $F_r = 0,08 \div 0,12$. На рис. 4 представлены осредненные безразмерные эмпирические зависимости, построенные по вышеприведенным формулам.

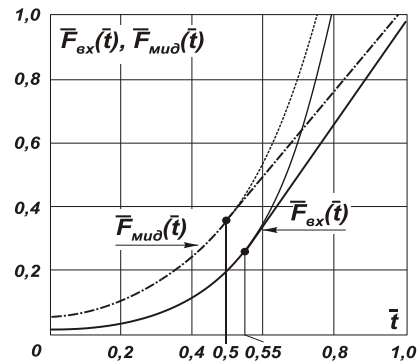


Рис. 4. Обезразмерные зависимости для площадей входного и миделевого сечений по двум участкам

Если, в простейшем случае, попытаться учесть сдерживающее процесс наполнения влияние от сил натяжения строп и звездообразности кромки купола, с целью приближенной аппроксимации всего основ-

ного этапа, не разбивая на части, то в зависимость (3) можно добавить линейный член:

$$F(t) = F_0 e^{kt} + bt, \quad (3a)$$

где коэффициент $b = \text{const}$.

Зависимости (3) и (3a) могут быть использованы при математическом моделировании процесса раскрытия и наполнения купола и приближенной оценке его динамических характеристик до фазы $\bar{t} = 0,85$.

Если заключительный участок основного этапа процесса наполнения не имеет резких изломов, например, как в эксперименте № 1, то возможна аппроксимация по формуле (3a), имеющая более четкий физический смысл, когда значение F_0 в точности равно начальному значению площади входного или миделевого сечения. Так, для эксперимента № 1, физически более правильными будут выражения:

$$F_{\text{вх}}(t) = 7e^{0,703t} + 14,26t;$$

$$F_{\text{мид}}(t) = 26e^{0,447t} + 23,323t.$$

На рисунке 5 представлены графики этих зависимостей.

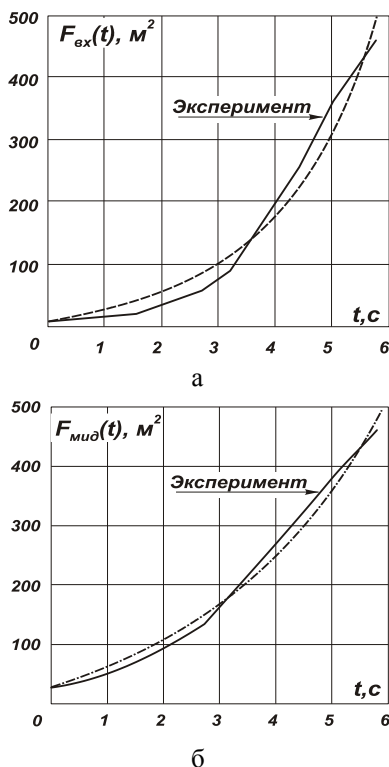


Рис. 5. Зависимости для изменения во времени площадей входного и миделевого сечений купола площадью 1000 м^2 в эксперименте № 1: а – входное сечение; б – миделевое сечение

В безразмерном виде экспериментальные кривые достаточно удовлетворительно можно представить зависимостями:

– входное сечение:

$$\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t}) = 0,015e^{4,6\bar{t}} + 0,01\bar{t};$$

– миделевое сечение:

$$\bar{F}_{\text{мид}}(\bar{t}) = 0,056e^{2,6\bar{t}} + 0,3\bar{t}.$$

Эти зависимости можно использовать для приближенного моделирования процесса наполнения больших куполов основного класса.

Нужно отметить, что предложенные для моделирования безразмерные зависимости, предполагающие разбиение основного этапа на два участка, более точны по сравнению с двумя последними. Тем не менее, для приближенных оценок характеристик движения системы объект-парашют, последние зависимости, полностью описывающие основной этап, также можно эффективно использовать с достаточной для практики степенью точности.

Используя полученные выше зависимости для изменения площадей входного и миделевого сечений купола в процессе наполнения парашюта, можно выполнять количественную оценку наполняемости парашюта с помощью интегральной характеристики – коэффициента оценки наполняемости v , [3]:

– для размерных зависимостей

$$v_{\text{вх,мид}} = \frac{\int_0^{t_H} F_{\text{вх,мид}}(t) dt}{F_{\text{ПН,вх, мид}} t_H},$$

– для безразмерных зависимостей

$$v_{\text{вх,мид}} = \int_0^1 \bar{F}_{\text{вх,мид}}(\bar{t}) d\bar{t}.$$

Чем больше коэффициент оценки наполняемости v , тем интенсивнее идет процесс наполнения купола парашюта и, наоборот, чем меньше величина v , тем менее интенсивно протекает процесс.

По вошедшим в обработку 5 зачетным летным экспериментам, проведенным на указанных выше режимах с куполами площадью 1000 м^2 , с учетом двух последних безразмерных функциональных зависимостей для площадей миделя и входа, путем подстановки их под знак последнего интеграла, были получены следующие числовые значения для коэффициентов наполняемости:

$$v_{\text{вх}} = 0,33; v_{\text{мид}} = 0,59.$$

Как видно, интенсивность процесса наполнения, оцениваемая по миделевому, примерно в 1,8 раза выше, чем по входному сечению.

Коэффициенты наполняемости могут быть эффективно использованы для сравнения наполняемости аналогичных конструкций куполов парашютов основного класса между собой.

Нужно также отметить, что наряду с коэффициентом оценки наполняемости ν существуют также и более тонкие инструменты для оценки наполняемости. Они используются в тех случаях, когда полученные в летных экспериментах коэффициенты ν близки, и нельзя с высокой степенью достоверности сказать, какой из двух сравниваемых между собой парашютов наполняется лучше. В этом случае обязательным дополнительным условием контроля качества процесса наполнения служит условие отсутствия горизонтальных участков на кривых $F_{\text{вх}}(t)$, $F_{\text{мид}}(t)$, т.е. выполнение условий:

$$\frac{dF_{\text{вх,мид}}(t)}{dt} > 0.$$

Кроме того, в случае, если для двух различных куполов получены примерно одинаковые значения критерия ν , то предпочтение по наполняемости следует отдать тому куполу, у которого кривая $\bar{F}_{\text{вх}}(\bar{t})$ вплоть до фазы $\bar{t}=0,3$ поднимается круче [3].

Известно [3], что интенсивность процесса наполнения и основные аэродинамические характеристики в процессе наполнения парашюта, существенно зависят от характера формообразования контура кромки входного сечения купола. Анализ показал, что чем больше звездообразность контура кромки купола, тем менее интенсивно идет процесс наполнения, и, наоборот, чем ближе форма контура к окружности, тем интенсивнее протекает процесс наполнения. Для количественной оценки степени звездообразности контура входного сечения в каждый момент времени в процессе наполнения введено понятие коэффициента формы [3]:

$$K_{\phi} = 4\pi \frac{F_{\text{вх}}}{L^2},$$

где L – длина наблюдаемого в данный момент (включая гофр и сборки) эффективного контура кромки купола;

$F_{\text{вх}}$ – площадь, охватываемая в данный момент эффективным контуром L .

Наибольшее значение коэффициента формы, равное единице, будет иметь круг. Наименьшее, близкое к нулю, будут иметь такие конфигурации кромки, как вытянутая серповидная или звездооб-

разная, с длинными узкими лучами (щелями) звезды.

Таким образом, величина коэффициента формы ($0 < K_{\phi} < 1$) косвенно может служить количественной характеристикой степени звездообразности контура входного сечения, а, следовательно, и количественной оценкой интенсивности процесса наполнения купола в каждый данный момент времени.

Весьма информативным, с точки зрения анализа динамики процесса наполнения, является множество точек K_{ϕ} , т.е., по существу функция $K_{\phi}(t)$.

Интересно отметить, что построенные кривые $K_{\phi}(t)$ для куполов площадью 1000 м^2 имеют ярко выраженный локальный максимум в районе максимума аэродинамической нагрузки, действующей на купол в процессе наполнения, и локальный минимум, примерно в момент времени $\bar{t}=0,5$, когда кромка купола уже практически полностью расправлена [3].

Для количественной оценки всего основного этапа наполнения парашюта можно использовать также интегральный коэффициент формы [3]:

$$K_{\phi\Sigma} = \int_0^1 K_{\phi} d\bar{t}.$$

По сравнению с коэффициентом оценки наполняемости ν (где требуется определение только истинной площади входного сечения) коэффициент K_{ϕ} учитывает конфигурацию контура кромки, чувствителен к появлению горизонтальных участков на кривых $F_{\text{вх}}(t)$, $F_{\text{мид}}(t)$ и, таким образом, является эффективным дополнением к коэффициенту ν в процессе оценки наполняемости купола парашюта.

Выводы

1. Рассмотрены и обсуждены некоторые результаты летных экспериментальных исследований основного этапа процесса наполнения парашютных систем больших площадей основного класса.

2. По результатам летных исследований получены приближенные зависимости для описания динамики основного этапа наполнения, которые могут быть использованы при построении математических моделей процесса раскрытия парашютов больших площадей основного класса без конструктивной воздухопроницаемости.

3. Предложены способы количественной оценки наполняемости куполов осесимметричных парашютов.

Литература

1. Иванов, П. И. Летные испытания парашютных систем [Текст] / П. И. Иванов. – Феодосия: Гранд-С, 2001. – 332 с.

2. Иванов, П. И. Подготовительный этап процесса наполнения парашютов больших площадей [Текст] / П. И. Иванов // *Авиационно-космическая*

техника и технология. – 2014. – № 2(109). – С. 33-38.

3. Иванов, П. И. Методика оценки формообразования и наполняемости купола парашюта в летном эксперименте, № 16101.52.00 [Текст] / П. И. Иванов ; НИИ АУС. – Феодосия, 2000. – 96 с.

Поступила в редакцию 3.03.2014, рассмотрена на редколлегии 20.05.2014

Рецензент: канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования Г. С. Абрамов, Херсонский национальный технический университет, Херсон.

ОСНОВНИЙ ЕТАП ПРОЦЕСУ НАПОВНЕННЯ ПАРАШУТІВ ВЕЛИКИХ ПЛОЩ

П. І. Іванов

У роботі розглядається основний етап - один з найважливіших етапів процесу наповнення парашутів великих площ основного класу. Приводяться та улаштовуються причини, що змушують розроблювачів парашутів великих площ проводити детальні дослідження основного етапу. Приводяться деякі експериментальні факти за результатами літних іспитань парашутів основного класу площ 500÷1500м². Виявлено фактори, які можуть бути можливими причинами уповільнення або прискорення процесу наповнення парашутів на основному етапі. Приведено деякі базові безрозмірні емпіричні залежності, що характеризують динаміку процесу наповнення куполів великих площ на основному етапі.

Ключові слова: парашути великих площ, основний клас, основний етап, процес наповнення.

THE MAIN PHASE OF FILLING PROCESS OF LARGE-AREA PARACHUTES

P. I. Ivanov

The main phase is being examined in the work – it is one of the most important phases of filling process of large-area parachutes of the main class. The reasons that make the developers of large-area parachutes of the main class carry out detailed researches of the main phase are being put and justified. Some experimental facts according to the results of flight tests of the main parachutes with the area 500÷1500m are being referred. The line of material factors that can be probable reasons of the deceleration or the acceleration of filling process of parachutes in the main phase has been revealed. Basic dimensional and dimensionless empirical dependence defining the dynamics of filling process of large-area canopies in the main phase are given.

Key words: large-area parachutes, the main class, the main phase, filling process.

Иванов Петр Иванович – д-р техн. наук, профессор, Феодосийский факультет Херсонского национального технического университета, г. Феодосия, Украина, e-mail: Ivanovpetr@rambler.ru.