

## **Метод наземных стендовых испытаний по вытягиванию парашюта**

В.Л.Генерозов, Ю.В.Муравьев

*При разработке парашютных систем различного назначения, в том числе систем для спуска космических объектов на планеты, имеющие атмосферу, должна быть решена проблема вытягивания парашюта из парашютного контейнера, камеры.*

*До последнего времени решение этой задачи обеспечивалось расчетным путем и прямым экспериментом с натурной парашютной системой, если была возможность такой эксперимент осуществить.*

*В статье обосновывается возможность эксперимента на стенде, на Земле, определяются критерии, при выполнении которых обеспечивается воспроизведение на стенде параметров движения вытяжного устройства таких же, как и при натурном применении системы, в том числе и в условиях другой планеты.*

### **1. Введение**

В статье рассматривается безударная схема вытягивания парашюта, при которой вытяжное устройство (ВУ) парашютной системы (ПС) в составе крышки парашютного контейнера с прикрепленной к ней камерой и уложенным в неё тормозным парашютом (ТП) отстреливаются от спасаемого груза. По мере отхода ВУ от груза из камеры последовательно вытягиваются стропы ТП, а затем и купол парашюта. В качестве примера рассматривается парашютная система, предназначенная для посадки изделия на планету Марс.

Исследуется возможность проведения аналогового эксперимента, при котором испытывается натурная парашютная система, а система сил, действующих в реальном полете заменяется некоторым аналогом. В связи с этим требуется определить, при каких условиях эксперимент по вытягиванию натурального парашюта при проведении его на Земле будет идентичен процессу вытягивания этого же парашюта в условиях Марса. Сложность этой задачи определяется следующим:

- существенно более низкой плотностью атмосферы планеты Марс по сравнению с атмосферой Земли. На поверхности Земли и Марса плотность атмосферы находится в примерном соотношении

$$\rho_m \sim 0,01 \rho_z;$$

- значительным различием ускорений свободного падения на поверхности Земли и Марса:

$$g_z = 9,81 \text{ м/с}^2; \quad g_m = 3,72 \text{ м/с}^2.$$

Это, безусловно, различает условия для динамических процессов. В связи с этим необходимо ответить на следующие вопросы:

- в какой мере указанные различия отразятся на протекании вытягивания парашюта на этих планетах?
- Возможны ли условия, при которых процесс вытягивания натурального парашюта на Земле будет идентичен этому же процессу на Марсе?
- Что мы должны понимать под идентичностью двух процессов вытягивания парашюта или совпадением каких параметров процесса вытягивания парашюта при его натурном применении и в стендовом эксперименте нас устроят с точки зрения гарантии надежности осуществления натурального процесса?

Теоретической основой для проведения данного исследования выбрана математическая модель процесса вытягивания парашюта, представленная в работе [1]. Она широко используется при расчете указанного этапа работы парашютной системы. Имеется достаточный экспериментальный материал, подтверждающий работоспособность модели по её основным параметрам. В указанной модели рассматривается вытягивание парашюта, при котором вытяжное устройство системы движется по потоку воздуха, вдоль линии вектора воздушной скорости головного тела. Под вытяжным устройством мы понимаем все элементы конструкции ПС и парашютного контейнера, которые отделяются от груза в момент начала вытягивания. Благодаря относительному движению этих частей и груза осуществляется процесс вытягивания парашюта.

## ***2. Схема вытягивания парашюта***

На рис.1 приводится расчетная схема процесса вытягивания парашюта, где в виде векторов изображены основные силы, действующие на головное тело -  $M_r$ (груз) - и на вытяжное устройство -  $M_{вч}$ .

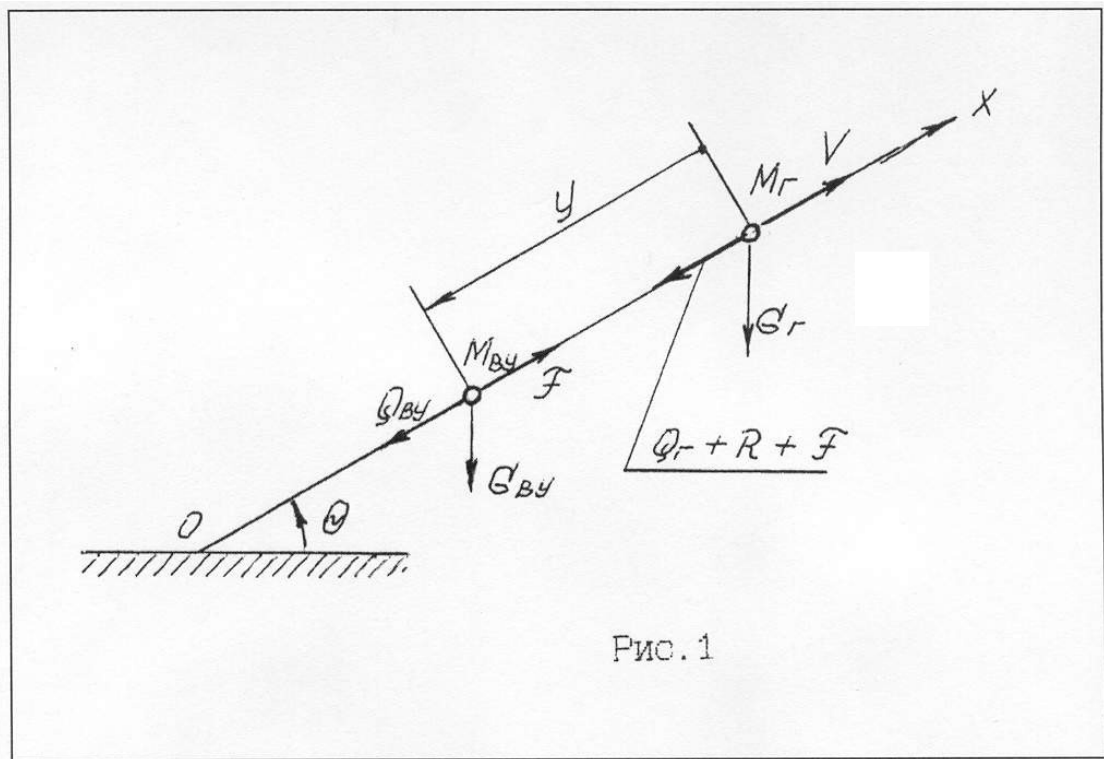


Рис. 1

Оба эти элемента расчетной схемы представлены материальными точками. Обе эти массы переменны и являются функциями относительной длины  $y$  между указанными точками, а точнее функциями массы вытянутой части парашюта  $M_{вч}$   
 $M_{вч} = M_{вч}(y)$ .

### **3. Математическая модель процесса вытягивания парашюта**

#### **3.1. Уравнения процесса вытягивания парашюта**

Математическая модель процесса вытягивания парашюта представлена в работе [1]. В ней описывается движение головного тела в неподвижной системе координат, связанной с землей, и относительное движение вытяжного устройства в связанной системе координат, начало которой - точка  $O$  - движется с грузом.

Уравнения, описывающие движение груза, имеют вид:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= V; \\ \dot{V} &= -g(Q_r + R + F + \sin\theta); \end{aligned} \quad (1)$$

Уравнения, описывающие относительное движение груза и ВУ представлено в форме

$$\begin{aligned}\dot{y} &= U; \\ \dot{U} &= (Q_{vy} - F)/M_{vy} - (Q_r + F + R)/M_r, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{или} \quad \dot{U} = P/M, \quad (3)$$

$$\text{или} \quad \dot{U} = g(n_{vy} - n_r) = g\Delta n, \quad (4)$$

$$\text{где} \quad n_r = (Q_r + F + R)/M_r g,$$

$$n_{vy} = (Q_{vy} - F)/M_{vy} g,$$

$$P = Mg(n_r - n_{vy}), \quad (5)$$

$$M = M_r M_{vy} / (M_r + M_{vy}). \quad (6)$$

Уравнение в форме (3) является уравнением движения материальной точки  $M$  под действием силы  $P$  в инерциальной системе координат. В то же время это уравнение получено из системы уравнений, описывающих относительное движение материальных точек  $M_r$  и  $M_{vy}$ . Это обстоятельство дает возможность для поиска способа проведения в стендовых условиях эксперимента, воспроизводящего натурный процесс вытягивания парашюта.

Мы видим, что относительное движение груза и вытяжного устройства определяется только разностью перегрузок, действующих на головное тело и вытяжное устройство (4) и не зависит от сил тяжести, ускорения свободного падения и угла наклона траектории движения системы головное тело - вытяжное устройство (2).

Для поиска и обоснования условий, при которых возможно создание стенда для имитации в наземных стендовых условиях процесса вытягивания натурального парашюта, рассмотрим более подробно параметры, определяющие исследуемый процесс.

### ***3.2. Основные допущения, принятые при разработке***

*математической модели*

Напомним, что математическая модель [1] рассматривает процесс вытягивания парашюта, при котором вытяжное устройство системы движется по потоку воздуха, по линии вектора воздушной скорости головного тела.

Основные допущения, принятые в математической модели процесса вытягивания парашюта:

1. Предполагается, что вытягиваемый парашют является абсолютно гибкой неупругой массивной нитью.

2. Предполагается, что в процессе вытягивания парашюта, ввиду непродолжительности этого процесса, изменение угла наклона траектории головного тела и вытяжного устройства достаточно малы, в связи с чем принимается, что их относительное движение осуществляется по прямой линии, совпадающей с касательной к траектории движения головного тела.

**3.3. Силы, действующие на элементы системы при  
вытягивании парашюта**

Основные силы, действующие на элементы системы при вытягивании парашюта следующие:

- силы аэродинамического сопротивления груза –  $Q_r$  и ВУ –  $Q_{vy}$ ;
- силы тяжести груза –  $G_r$  и ВУ –  $G_{vy}$ ;
- инерционная сила -  $R$ , обусловленная инерцией вытягиваемого парашюта и действующая через вытянутую часть парашюта на головное тело - точку  $M_r$  при безударной схеме вытягивания;

- сила трения  $F$ , возникающая при выходе парашюта из своей камеры. Сила  $F$  действует на точку  $M_{vy}$  и через вытянутую часть парашюта на точку  $M_r$  действует реакция этой силы. Указанные силы определяются в стендовом эксперименте в процессе испытаний опытного образца ПС, после чего могут быть учтены в расчете.

Расчетная схема не учитывает аэродинамического сопротивления вытянутой части парашюта, которое к ней и приложено. При безударной схеме вытягивания указанные силы передаются в конечном счете на головное тело. Следует сразу заметить, что на этапе вытягивания парашюта эти силы невелики по своей абсолютной величине и, что более важно, невелика их работа на пути вытягивания или их суммарный импульс в течение времени вытягивания. Поэтому они не могут заметно влиять на движение головного тела.

### 3.4. Массовые характеристики системы

В математической модели [1] рассматривается движение двух материальных точек  $M_{\Gamma}$  и  $M_{\text{ВУ}}$ . Для рассматриваемой безударной схемы вытягивания массы головного тела и вытяжного устройства вычисляются следующим образом

$$M_{\Gamma} = m_{\Gamma} + M_{\text{ВЧ}};$$

$$M_{\text{ВУ}} = m_{\text{КР}} + m_{\text{П}} - M_{\text{ВЧ}}.$$

Масса вытянутой части является функцией вытянутой длины парашюта  $y$  и определяется в общем виде соотношением

$$M_{\text{ВЧ}} = \int_0^y \gamma(y) dy + \sum_1^i m_{\text{Сi}}$$

В процессе вытягивания парашюта за счет  $M_{\text{ВЧ}}$  идет перераспределение массы вытягиваемого парашюта между точками  $M_{\Gamma}$  и  $M_{\text{ВУ}}$ .

Погонная масса  $\gamma(y)$  постоянная на участке вытягивания строп и переменная на участке вытягивания купола парашюта.

При  $y=0$   $M_{\text{ВЧ}}=0$ ; при  $y=y_{\text{К}}$   $M_{\text{ВЧ}}=m_{\text{П}}$ .

### 4. Анализ уравнений вытягивания

Первое допущение (см. п.3.2), принятое при разработке математической модели [2], очевидно и необходимости в его обосновании нет.

В приложении 1 дается распечатка расчета вытягивания ТП спускаемого аппарата NETLANDER, в условиях Марса. Расчетное время вытягивания указанного парашюта составляет  $t=0,7$  с. За это время траекторный угол меняется в пределах  $-25,36 \geq \theta \geq -25,72$  град.

Мы видим, что второе допущение в этом расчетном случае вполне оправдано.

Как указывалось выше, уравнение в форме (3) показывает, что относительное движение точек  $M_{\Gamma}$  и  $M_{\text{ВУ}}$  может быть представлено как движение в инерциальной системе координат одной точки с массой  $M$  (см. (6)), движущейся под действием силы  $P$  (см. (5)).

Если произвести физический эксперимент, в котором груз (читай парашютный контейнер) будет неподвижно закреплен на земле, а вытяжное устройство будет двигаться за счет энергии, полученной после срабатывания катапультного устройства, то движение ВУ будет

описываться уравнением в форме (3). Если, кроме того, на протяжении всего процесса вытягивания парашюта будут выполнены условия

$$M_{\text{вы}}=M_{\text{н}} \quad (7)$$

и

$$\sum Q=P_{\text{н}}, \quad (8)$$

то процесс движения точки  $M_{\text{вы}}$  в эксперименте будет повторять относительное движение точек  $M_{\text{г}}$  и  $M_{\text{вы}}$  при натурном применении парашютной системы. Это обстоятельство можно считать теоретической предпосылкой для поиска метода организации стендового эксперимента.

В соотношениях (7) и (8) использованы следующие обозначения:

$M_{\text{вы}}$  - масса вытяжного устройства в стендовом эксперименте;

$M_{\text{н}}$  – приведенная масса системы точек  $M_{\text{г}}$  и  $M_{\text{вы}}$  в натуральных условиях;

$\sum Q$  - сумма проекций всех внешних сил на направление движения точки  $M_{\text{вы}}$ , действующих на неё в течение времени вытягивания парашюта;

$P_{\text{н}}$  - приведенная сила для системы точек  $M_{\text{г}}$  и  $M_{\text{вы}}$  в натуральных условиях.

Необходимо отметить, что практически легко добиться выполнения только условия (7). Так для ПС Netlander справедливо соотношение  $M_{\text{г}} \gg M_{\text{вы}}$  и можно принять, что  $M_{\text{г}} \approx M_{\text{вы}}$ . В действительности различие между  $M$  и  $M_{\text{вы}}$  в процессе вытягивания ТП не превышает 2% и можно считать, что соотношение (7) выполняется строго. Но практически в стендовом эксперименте можно и скорректировать массу крышки таким образом, чтобы указанное равенство выполнялось абсолютно.

Обеспечить выполнение условия (8) на всем протяжении процесса гораздо сложнее. Но в этом чаще всего и нет необходимости. В практических целях для проверки работоспособности вытяжного устройства достаточно проверить это свойство парашютной системы в двух - трех критических точках на длине вытягивания парашюта. Такими точками следует считать места, в которых расходуется повышенное количество энергии ВУ в его относительном движении, места, в которых возможны потери энергии не определяемые в статическом эксперименте, например по типу эксперимента для замера силы трения при выходе строп и купола из камеры. Точкой проверки работоспособности ВУ должна быть и полная длина вытянутого парашюта.

Критерием нормального течения процесса вытягивания парашюта следует считать выполнение условия

$$U > 0 \quad (9)$$

на протяжении всего пути вытягивания парашюта. Поэтому, если проверка

показывает, что после прохождения критической точки скорость вытягивания  $U$  находится в допустимых пределах, определенных заранее, то работоспособность ВУ можно считать соответствующей необходимому уровню.

Поскольку относительное движение точек  $M_r$  и  $M_{vy}$  не содержит параметров  $g$  и  $\theta$  (см. уравнение (2)), можно ожидать, что процесс вытягивания парашюта будет одним и тем же при любых значениях указанных параметров, но при выполнении условий (7,8). В связи с этим возможен прямой эксперимент в условиях Земли по вытягиванию парашюта, в котором повторялся бы натуральный процесс на Марсе. Но для этого необходимо обеспечить движение системы  $M_r - M_{vy}$  с той же начальной скоростью, что и на Марсе на высоте, при которой

$$\rho_z = \rho_m, \quad (10)$$

где

$\rho_z$ - плотность воздуха земной атмосферы;

$\rho_m$ - плотность атмосферы Марса.

Расчет, проведенный по методике [1], подтверждает это предположение (см. приложение 4). Но для выполнения условия (10) необходимо в атмосфере Земли подняться на высоту порядка 35 км. Теоретически такой эксперимент возможен, но реально осуществить его сложно технически и дорого.

В работе [6] показано, что относительное движение точек  $M_r$  и  $M_{vy}$  определяется работой силы  $P$  на относительном перемещении  $y$ . Этот вывод получен путем следующих преобразований соотношения (3)

$$M \dot{U} = P,$$

где  $\dot{U} = dU/dt$  или  $\dot{U} = U * dU/dy$ .

Подставляя последнее выражение в (10) и разделяя переменные находим

$$Pdy = d(MU^2/2) - (U^2/2)dM.$$

Интегрируя это выражение получаем

$$A_i = \Delta_i (MU^2/2) - 0,5 \int_0^{y_i} U * U dM, \quad (12)$$

где  $A_i$  - работа приведенной силы  $P$  на перемещении ВУ от 0 до  $y_i$ ;

$\Delta_i (MU^2/2)$ -приращение полной кинетической энергии ВУ в относительном движении на том же перемещении;



$0,5 \int_0^{y_i} U * UdM$  - часть кинетической энергии, обусловленная изменением приведенной массы системы на перемещении от 0 до  $y_i$ . Для ПК Netlander этот член не учитывается, так как  $M_{ст} = M_n$  и его абсолютная величина невелика.

Таким образом, приращение кинетической энергии ВУ (точки М), обусловленное изменением скорости  $U$  в его относительном движении, определяется работой силы  $P$  на перемещении  $0-y_i$ .

Исходя из этого можно сказать, что в двух случаях вытягивания парашюта, проходящих в условиях стенда на Земле и в натуральных условиях на Марсе относительные скорости движения  $U$  будут одинаковыми в точке  $y=y_i$ , если выполняются следующие условия:

$$U_{ст0} = U_{н0}; \quad \Sigma Q_{ст} * y_i = A_{ни}; \quad M_{ст}(y) = M_n(y).$$

Здесь  $U_{ст0}$ ,  $U_{н0}$  - начальная скорость отстрела ВУ на стенде и при натурном применении системы;

$\Sigma Q_{ст0} * y_i$  - сумма работ проекций всех внешних сил, действующих на ВУ в стендовом эксперименте, на направление его движения;

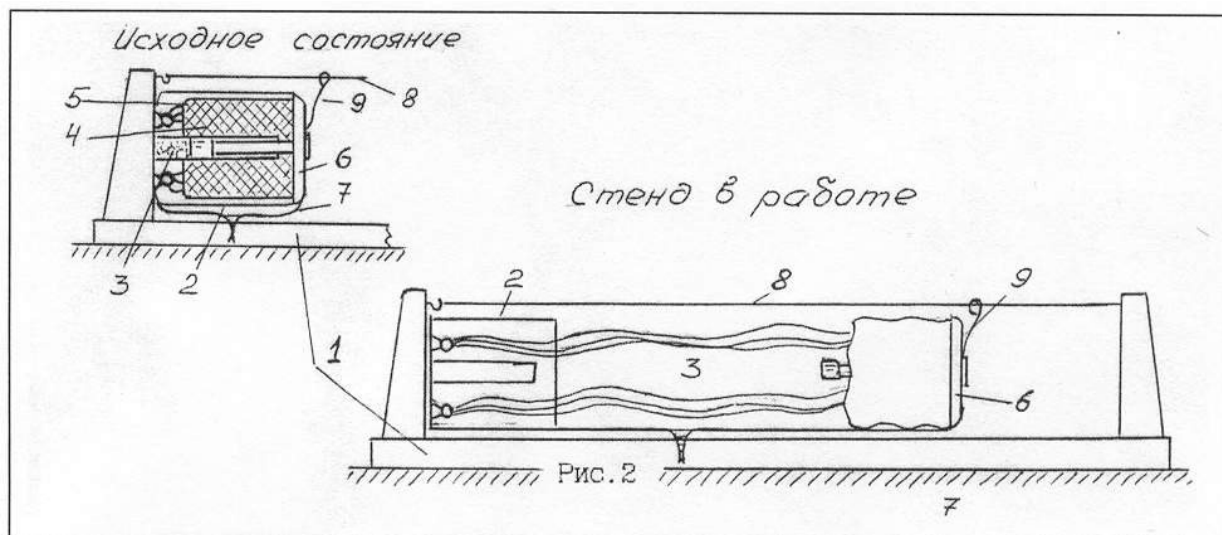
$M_{ст}$ ,  $M_n$  - масса ВУ в стендовом эксперименте и приведенная масса системы точек  $M_r$  и  $M_{вy}$  в натуральных условиях;

$A_{ни}$  - работа приведенной силы  $P$  для натуральных условий на перемещении  $y_i$ .

### ***5. Предлагаемая схема аналогового эксперимента***

С учетом обстоятельств, приведенных в разделе 4, формируется следующая схема стендового эксперимента (рис.2).

На столе (1) устанавливается парашютный контейнер (2) со стреляющим механизмом (3) и парашютом (4), уложенным в камеру (5), укрепленную на крышке ПК (6). При проведении эксперимента производится штатное срабатывание стреляющего механизма ПК. Крышка вместе с камерой и вытягиваемым парашютом выбрасывается из контейнера. Для имитации внешних факторов, влияющих на процесс вытягивания парашюта, крышка ПК соединяется с парашютным контейнером или с его подставкой на столе стенда имитатором силовых факторов. В качестве последнего в данном случае предлагается тарированная раздирающаяся лента (7). В процессе отхода крышки ПК от контейнера (2) натягивается лента (7) и последовательно рвутся разрывные элементы указанной ленты, обеспечивая необходимое сопротивление отходу крышки.



Наиболее просто подбор параметров имитатора внешних факторов - раздирающей ленты (7) осуществляется при горизонтальном движении крышки, при котором на движение вытяжного устройства не оказывают влияния силы веса. Такое горизонтальное движение крышки в процессе вытягивания парашюта может быть обеспечено с помощью поддерживающего троса (8), на который одета проволочная петля (9), соединенная с крышкой.

Выбор параметров разрывных элементов производится из условия равенства работ разрыва разрывных элементов ленты (7) работе приведенной силы для условий вытягивания парашюта на Марсе:

$$\Sigma A_i = \int_0^{y_i} P dY$$

Здесь  $\Sigma A_i$  - сумма работ разрыва элементов ленты на участке  $0 \leq y \leq y_i$ , соответствующем длине вытягивания парашюта стендовом эксперименте на Земле;

$\int_0^{y_i} P dY$  - работа приведенной силы в вытягиваемой системе для условий Марса на указанной выше длине.

Действие имитатора внешних воздействий, в частности раздирающей ленты (7), можно заменить действием сил веса вытяжного устройства.

Для этого парашютный контейнер необходимо повернуть на некоторый угол  $\theta$  от горизонтального положения. Величина наклона ПК определяется из условия выполнения соотношения (7).

Для проверки правильности сделанных методических предположений относительно работоспособности предлагаемой схемы эксперимента и возможной точности воспроизводства процесса вытягивания парашюта разработана программа численного решения за-

дачи о вытягивании парашюта на стенде по схеме рис.2. Проведены тестовые расчеты такого вытягивания по указанной программе.

Расчеты (см. приложение 2 и 3) подтверждают возможность проведения в наземном стендовом эксперименте по схеме рис.2 проверки работоспособности системы ввода в действие ТП ПС Netlander.

Точность воспроизведения процесса вытягивания ТП на стенде будет определяться:

- точностью имитации с помощью разрывной ленты работы приведенной силы;
- уровнем соответствия между массой вытяжного устройства в стендовом эксперименте и приведенной массой системы в натурном процессе. Желательно эти массы уравнивать;
- точностью учета всевозможных паразитных сопротивлений, таких как сила трения крышки о поддерживающий трос, силы аэродинамического сопротивления крышки. На листах 13-16, в приложениях 1-4 приводятся распечатки тестовых расчетов, выполненных для подтверждения гипотез, выдвинутых при разработке программы. На листе 17 представлены графики изменения во времени различных параметров процесса вытягивания ТП для условий природы на Марсе, условий стенда и условий эксперимента в атмосфере Земли на высоте  $h_0=35500$  м.

Как указывалось выше, расчеты проведены по методике [1,2].

При расчете вытягивания парашюта в натуральных условиях на Марсе (Приложение 1) и в земных условиях в летном эксперименте (Приложение 4) рассматривался наиболее тяжелый случай вытягивания, при котором вытяжное устройство - крышка ПК - движется по оси аэродинамического следа головного тела, в связи с чем учитывается изменение коэффициента аэродинамического сопротивления крышки по мере удаления от головного тела  $C_{\pi}=f(y)$ .

В приложении 2 и 3 даются результаты расчета процесса вытягивания парашюта на стенде. Поскольку вытягивание в стендовых условиях по схеме рис.2 определяется рядом факторов ( $F_{тр}$ ,  $Q$ ,  $M$ ), а в стендовом эксперименте мы ограничены в возможности варьирования параметром  $F_{тр}$  (на каждом участке вытягивания ТП мы выбираем постоянную величину  $F_{тр}$ ), проводится несколько приближений, в которых  $F_{тр}$  подбирается так, чтобы в исследуемых точках  $u_i$  имело место примерное равенство  $A_{ин}=A_{исг}$ .

Тестовые расчеты показывают, что при достаточно точном воспроизведении работы приведенной силы, точность получения основного параметра процесса -  $U$  - может быть достаточно высокой (см. приложение 2, 3).

Результаты расчетов, приведенные в приложениях 1, 3, 4, представлены на рисунках 3,4. Здесь дается сравнение основных параметров процесса вытягивания  $y=y(t)$ ,  $U=U(t)$  и параметров, используемых для организации эксперимента  $M=M(t)$ ,  $A=A(t)$  в условиях на-

турного применения системы на Марсе и в летном эксперименте (рис.3), в условиях натурального применения и в условиях стенда (рис.4).

На рис.3 можно видеть полное совпадение всех параметров процесса при натурном применении системы на Марсе и в летном эксперименте на высоте  $h=35,5$  км. В летном эксперименте помимо моделирования относительной скорости  $U$  на протяжении всего вытягивания парашюта воспроизводится и время его вытягивания.

На стенде (рис.4) моделируется параметр  $U(y)$  только в точках  $y=9,6$  м (конец вытягивания строп) и  $y=11,5$  м (полное вытягивание ТП). Время процесса не моделируется.

## *6. Заключение*

Проведенными исследованиями показана возможность создания стенда для исследования процесса вытягивания парашюта при безударной схеме вытягивания.

При этом определены параметры, влияющие на указанный процесс, определен критерий соответствия между вытягиванием в натуральных условиях и условиях стендовых испытаний.

Проведенные тестовые расчеты подтверждают возможность осуществления стендового эксперимента, имитирующего в наземных условиях вытягивание парашюта на Марсе с необходимой для практических целей точностью.

## *Литература*

1. Физическая модель процесса вытягивания./ О.В.Рысев.,А.Т. Пономарев, М.И.Васильев, А.А.Вишняк, И.В.Днепров, Ю.В.Мосеев // Парашютные системы.-М.:Наука-Физматлит, 1996.-с. 211-213.

*Г*

---

*Генерозов Валерий Леонидович, заместитель начальника отдела НИИ парашютостроения, к. т. н., старший научный сотрудник.*

*Телефон: 462 05 37.*

*Муравьев Юрий Викторович, ведущий научный сотрудник НИИ парашютостроения, к.т.н.*

*Телефон: 462 05 37*

*e-mail oricontt@mtu-net.ru*

ПС Netlander ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЛАНЕТЫ МАРС

элемент 1 L= 9.60[м] m= .4[кг]

t[с]	y[м]	u[м/с]	v[м/с]	θ[гр]	N <sub>ву</sub>	N <sub>г</sub>	M[кг]	P[н]	A[н*м]
.00	.00	20.0	382.0	-25.36	.00	3.65	2.33	-31.62	.00
.02	.40	19.7	381.8	-25.37	-.01	3.65	2.31	-31.43	-12.49
.04	.79	19.5	381.5	-25.38	-.02	3.64	2.30	-31.24	-24.73
.06	1.18	19.2	381.3	-25.39	-.03	3.64	2.28	-31.05	-36.73
.08	1.56	18.9	381.0	-25.40	-.05	3.63	2.26	-30.87	-48.49
.10	1.93	18.6	380.8	-25.41	-.06	3.62	2.25	-30.69	-60.01
.12	2.30	18.4	380.6	-25.42	-.07	3.62	2.23	-30.52	-71.31
.14	2.67	18.1	380.3	-25.43	-.06	3.61	2.21	-30.15	-82.30
.16	3.03	17.8	380.1	-25.44	-.04	3.61	2.20	-29.72	-92.97
.18	3.38	17.6	379.9	-25.45	-.01	3.60	2.18	-29.29	-103.33
.20	3.73	17.3	379.6	-25.46	.00	3.60	2.17	-28.93	-113.41
.22	4.07	17.0	379.4	-25.47	.19	3.59	2.15	-27.15	-122.72
.24	4.41	16.8	379.2	-25.48	.47	3.59	2.14	-24.68	-131.06
.26	4.74	16.6	378.9	-25.49	.76	3.58	2.12	-22.24	-138.48
.28	5.07	16.4	378.7	-25.50	.99	3.58	2.11	-20.19	-145.12
.30	5.40	16.2	378.5	-25.51	1.22	3.57	2.09	-18.24	-151.05
.32	5.72	16.0	378.2	-25.52	1.45	3.57	2.08	-16.31	-156.30
.34	6.04	15.9	378.0	-25.53	1.67	3.56	2.06	-14.46	-160.91
.38	6.67	15.6	377.5	-25.55	2.02	3.55	2.04	-11.58	-168.65
.40	6.98	15.5	377.3	-25.56	2.19	3.55	2.02	-10.16	-171.81
.42	7.29	15.4	377.1	-25.57	2.35	3.54	2.01	-8.93	-174.57
.44	7.59	15.3	376.8	-25.58	2.43	3.54	1.99	-8.18	-177.08
.48	8.20	15.2	376.4	-25.60	2.61	3.53	1.97	-6.70	-181.39
.50	8.51	15.1	376.1	-25.61	2.70	3.53	1.95	-5.99	-183.21
.52	8.81	15.0	375.9	-25.62	2.78	3.52	1.94	-5.34	-184.82
.54	9.11	15.0	375.7	-25.63	2.86	3.52	1.93	-4.69	-186.23
.56	9.41	15.0	375.5	-25.64	2.95	3.51	1.91	-4.04	-187.44
.57	9.60	14.9	375.3	-25.65	2.99	3.51	1.90	-3.53	-188.12

элемент 2 L= 1.90[м] m= .8[кг]

t[с]	y[м]	u[м/с]	v[м/с]	θ[гр]	N <sub>ву</sub>	N <sub>г</sub>	M[кг]	P[н]	A[н*м]
.57	9.60	14.9	375.3	-25.65	3.00	4.09	1.90	-7.72	-188.12
.59	9.90	14.9	375.0	-25.66	3.42	3.98	1.68	-3.50	-189.16
.61	10.19	14.8	374.8	-25.67	3.86	3.87	1.50	-.05	-189.17
.63	10.49	14.9	374.5	-25.68	4.30	3.76	1.35	2.70	-188.37
.65	10.79	14.9	374.3	-25.69	4.70	3.66	1.24	4.80	-186.94
.67	11.09	15.0	374.1	-25.70	5.03	3.56	1.17	6.38	-185.03
.69	11.39	15.1	373.8	-25.71	5.21	3.46	1.14	7.41	-182.80
.70	11.50	15.2	373.7	-25.72	5.23	3.42	1.13	7.72	-181.95

Приложение 2. РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ ТП  
ПС Netlander НА СТЕНДЕ В УСЛОВИЯХ ЗЕМЛИ (первое приближение)

Элемент 1: L= 9.60[м] m= .45[кг] Fтр=16.60[н]

t[c]	Y[м]	V[м/с]	M[кг]	P[н]	Qву[н]	P*dY[н*м]	Q*dY[н*м]
.00	.00	20.00	2.33	-20.33	3.73	.00	.00
.02	.40	19.83	2.32	-20.27	3.67	-8.08	1.47
.04	.79	19.65	2.30	-20.20	3.60	-16.06	2.89
.06	1.18	19.47	2.28	-20.14	3.54	-23.94	4.28
.08	1.57	19.30	2.27	-20.07	3.47	-31.73	5.64
.10	1.96	19.12	2.25	-20.01	3.41	-39.42	6.95
.12	2.34	18.94	2.23	-19.95	3.35	-47.02	8.23
.14	2.71	18.76	2.21	-19.88	3.28	-54.52	9.47
.16	3.09	18.58	2.19	-19.82	3.22	-61.92	10.68
.18	3.46	18.39	2.18	-19.76	3.16	-69.23	11.86
.20	3.82	18.21	2.16	-19.69	3.09	-76.45	12.99
.22	4.19	18.03	2.14	-19.63	3.03	-83.57	14.10
.24	4.54	17.84	2.13	-19.57	2.97	-90.60	15.17
.26	4.90	17.66	2.11	-19.51	2.91	-97.53	16.21
.28	5.25	17.47	2.09	-19.45	2.85	-104.36	17.21
.30	5.60	17.29	2.08	-19.39	2.79	-111.11	18.19
.32	5.94	17.10	2.06	-19.33	2.73	-117.76	19.13
.34	6.28	16.91	2.04	-19.27	2.67	-124.32	20.04
.36	6.62	16.72	2.03	-19.21	2.61	-130.78	20.92
.38	6.95	16.53	2.01	-19.15	2.55	-137.15	21.78
.40	7.28	16.34	2.00	-19.09	2.49	-143.43	22.60
.42	7.60	16.14	1.98	-19.03	2.43	-149.62	23.39
.44	7.92	15.95	1.97	-18.97	2.37	-155.71	24.16
.48	8.56	15.56	1.94	-18.86	2.26	-167.62	25.61
.50	8.86	15.37	1.92	-18.80	2.20	-173.44	26.30
.52	9.17	15.17	1.91	-18.75	2.15	-179.17	26.96
.54	9.47	14.97	1.89	-18.69	2.09	-184.81	27.59
.55	9.60	14.89	1.89	-18.66	2.06	-187.59	27.90

Элемент 2: L= 1.90[м] m= .80[кг] Fтр= -3.25[н]

t[c]	Y[м]	V[м/с]	M[кг]	P[н]	Qву[н]	P*dY[н*м]	Q*dY[н*м]
.55	9.60	14.89	1.88	1.18	2.07	-187.59	27.90
.57	9.90	14.90	1.82	1.18	2.07	-187.24	28.51
.59	10.20	14.91	1.69	1.18	2.07	-186.89	29.13
.61	10.49	14.93	1.57	1.17	2.08	-186.54	29.75
.63	10.79	14.94	1.44	1.17	2.08	-186.19	30.37
.65	11.09	14.96	1.31	1.16	2.09	-185.85	31.00
.67	11.39	14.98	1.19	1.16	2.09	-185.50	31.63
.68	11.50	14.99	1.13	1.15	2.10	-185.33	31.94

Приложение 3. РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ВЫТЯГИВАНИЯ ТП  
ПС Netlander НА СТЕНДЕ В УСЛОВИЯХ ЗЕМЛИ (второе приближение)

Элемент 1 L= 9.60[м] m= .45[кг] F= 16.66[Н]

t[с]	Y[м]	V[м/с]	M[кг]	P[Н]	Q[Н]	P*dY[Н*м]	Q*dY[Н*м]
.00	.00	20.00	2.33	-20.39	3.73	.00	.00
.02	.40	19.82	2.32	-20.32	3.67	-8.10	1.47
.04	.79	19.65	2.30	-20.26	3.60	-16.10	2.89
.06	1.18	19.47	2.28	-20.19	3.54	-24.01	4.28
.08	1.57	19.29	2.27	-20.13	3.47	-31.81	5.64
.10	1.96	19.11	2.25	-20.06	3.41	-39.53	6.95
.12	2.34	18.93	2.23	-20.00	3.34	-47.14	8.23
.14	2.71	18.75	2.21	-19.94	3.28	-54.66	9.47
.16	3.09	18.57	2.19	-19.87	3.22	-62.09	10.68
.18	3.46	18.39	2.18	-19.81	3.15	-69.41	11.85
.20	3.82	18.21	2.16	-19.75	3.09	-76.65	12.99
.22	4.18	18.02	2.14	-19.69	3.03	-83.78	14.09
.24	4.54	17.84	2.13	-19.62	2.97	-90.83	15.16
.26	4.90	17.65	2.11	-19.56	2.91	-97.78	16.20
.28	5.25	17.47	2.09	-19.50	2.85	-104.63	17.20
.30	5.60	17.28	2.08	-19.44	2.78	-111.39	18.18
.32	5.94	17.09	2.06	-19.38	2.72	-118.05	19.12
.34	6.28	16.90	2.04	-19.32	2.66	-124.63	20.03
.36	6.62	16.71	2.03	-19.26	2.60	-131.10	20.91
.38	6.95	16.52	2.01	-19.20	2.55	-137.49	21.76
.40	7.28	16.33	2.00	-19.14	2.49	-143.78	22.58
.42	7.60	16.13	1.98	-19.08	2.43	-149.98	23.37
.44	7.92	15.94	1.97	-19.03	2.37	-156.09	24.14
.48	8.55	15.55	1.94	-18.91	2.26	-168.02	25.59
.50	8.86	15.35	1.92	-18.85	2.20	-173.85	26.27
.52	9.17	15.16	1.91	-18.80	2.14	-179.59	26.93
.54	9.47	14.96	1.89	-18.74	2.09	-185.24	27.56
.55	9.60	14.87	1.89	-18.71	2.06	-188.03	27.87

Элемент 2 L=1.90[м] m= .80[кг] Fтр= -5.03[Н]

t[с]	Y[м]	V[м/с]	M[кг]	P[Н]	Q[Н]	P*dY[Н*м]	Q*dY[Н*м]
.55	9.60	14.87	1.88	2.97	2.06	-188.03	27.87
.57	9.90	14.90	1.82	2.96	2.07	-187.15	28.48
.59	10.20	14.94	1.69	2.95	2.08	-186.27	29.11
.61	10.50	14.97	1.57	2.94	2.09	-185.39	29.73
.63	10.80	15.01	1.44	2.93	2.10	-184.51	30.36
.65	11.10	15.06	1.31	2.91	2.12	-183.63	31.00
.67	11.40	15.11	1.19	2.90	2.13	-182.76	31.64
.68	11.50	15.13	1.12	2.89	2.14	-182.32	31.96

элемент 1 L= 9.60[м] m= .4[кг]

t[c]	y[м]	u[м/с]	H[м]	v[м/с]	θ[гр]	N <sub>By</sub>	N <sub>Г</sub>
.00	.00	20.0	35500.0	382.0	-25.36	.00	1.39
.02	.40	19.7	35496.7	381.8	-25.39	.00	1.39
.04	.79	19.5	35493.4	381.6	-25.41	-.01	1.39
.06	1.18	19.2	35490.2	381.4	-25.44	-.01	1.38
.08	1.56	18.9	35486.9	381.2	-25.47	-.02	1.38
.10	1.93	18.6	35483.6	381.1	-25.49	-.02	1.38
.12	2.30	18.4	35480.3	380.9	-25.52	-.03	1.38
.14	2.67	18.1	35477.0	380.7	-25.55	-.02	1.38
.16	3.02	17.8	35473.8	380.5	-25.57	-.01	1.38
.18	3.38	17.5	35470.5	380.3	-25.60	-.01	1.37
.20	3.73	17.3	35467.2	380.1	-25.63	.00	1.37
.22	4.07	17.0	35463.9	380.0	-25.65	.07	1.37
.24	4.41	16.8	35460.6	379.8	-25.68	.18	1.37
.26	4.74	16.5	35457.3	379.6	-25.71	.29	1.37
.28	5.07	16.3	35454.0	379.4	-25.73	.38	1.37
.30	5.39	16.1	35450.7	379.2	-25.76	.47	1.37
.32	5.71	16.0	35447.4	379.0	-25.79	.55	1.37
.36	6.35	15.7	35440.8	378.7	-25.84	.71	1.36
.38	6.66	15.6	35437.5	378.5	-25.87	.77	1.36
.40	6.97	15.5	35434.2	378.3	-25.89	.84	1.36
.42	7.28	15.4	35430.9	378.1	-25.92	.90	1.36
.44	7.58	15.3	35427.6	377.9	-25.95	.93	1.36
.48	8.19	15.1	35421.0	377.6	-26.00	1.00	1.36
.50	8.49	15.1	35417.7	377.4	-26.03	1.04	1.36
.52	8.79	15.0	35414.4	377.2	-26.05	1.07	1.36
.54	9.09	14.9	35411.1	377.0	-26.08	1.10	1.35
.56	9.39	14.9	35407.8	376.9	-26.11	1.13	1.35
.57	9.60	14.9	35405.4	376.7	-26.13	1.15	1.35

элемент 2 L= 1.90[м] m= .8[кг]

t[c]	y[м]	u[м/с]	H[м]	v[м/с]	θ[гр]	N <sub>By</sub>	N <sub>Г</sub>
.57	9.60	14.9	35405.4	376.7	-26.13	1.16	1.57
.59	9.90	14.8	35402.1	376.5	-26.15	1.32	1.53
.61	10.19	14.8	35398.8	376.3	-26.18	1.49	1.49
.63	10.49	14.8	35395.5	376.1	-26.21	1.66	1.45
.65	10.79	14.9	35392.2	375.9	-26.23	1.81	1.41
.67	11.08	15.0	35388.8	375.7	-26.26	1.94	1.37
.69	11.38	15.1	35385.5	375.6	-26.29	2.02	1.34
.70	11.50	15.1	35384.2	375.5	-26.30	2.02	1.32



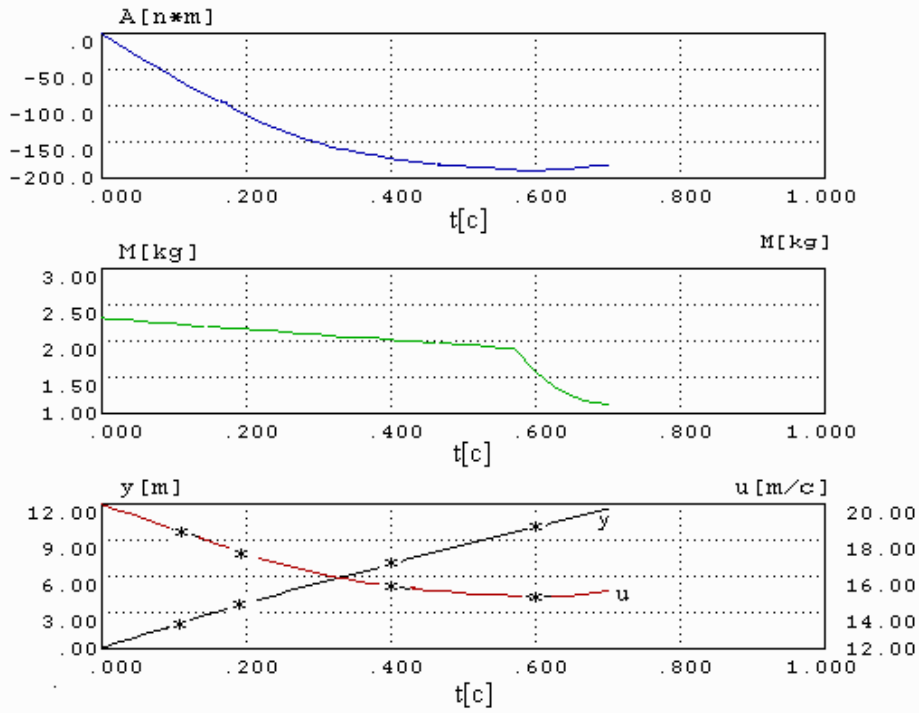


Рис. 3. Вытягивание ТП в условиях Марса и в земных условиях в лётном эксперименте (\* - лётный эксперимент)

k1

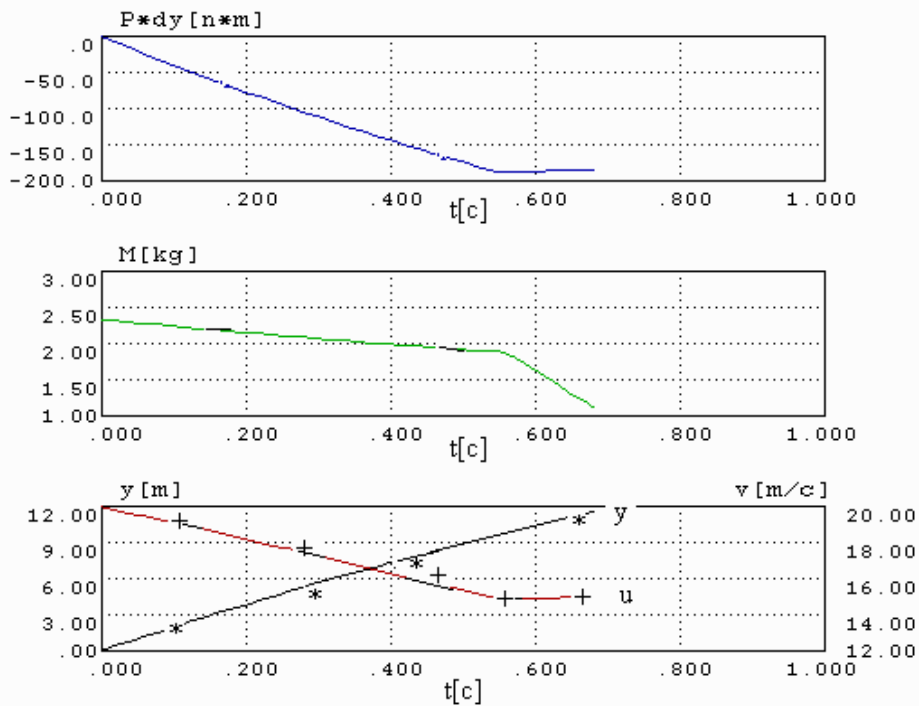


Рис. 4. Вытягивание ТП на стенде и в условиях Марса

\*  $\rightarrow$   $y$  (Марс), +  $\rightarrow$   $u$  (Марс)

k2