УДК 532+533

В.А. Захаренко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВУМЕРНОГО ПРОНИЦАЕМОГО ПАРАШЮТА

В работе рассматривается влияние на распределение давления и геометрию парашюта проницаемости купола парашюта, скорости спуска, угла атаки, длины строп и веса спускаемого груза. Задача решалась с применением метода распределенных особенностей и в предположениях, что парашют находится в потенциальном потоке несжимаемой жидкости, угол атаки близок к 90°. Получена система уравнений, определяющая решение задачи, решение которой позволяет определить помимо аэродинамических характеристик парашюта и геометрические характеристики подвески при выбранном режиме спуска.

Ключевые слова: *парашют, купол, проницаемость, метод гидродинамических особенностей, потенциальный поток, угол атаки.*

Введение

Постановке и решению задачи об обтекании потенциальным потоком несжимаемой жидкости гибкого парашюта произвольной формы предшествовала задача об обтекании тонкого профиля в форме дуги окружности [1] при решении которой исследовалась зависимость аэродинамических характеристик профиля от величины центрального угла дуги окружности образующей профиль. Угол атаки при этом принимался равным 90°. Однако в дальнейшем появилось желание несколько усложнить задачу, считая неизвестным параметром форму профиля при фиксированной длине и свободным параметром степень проницаемости купола парашюта.

Расчет гибкого парашюта представляет собой сложную проблему, т.к. форма гибкой поверхности определяет распределение по ней давления и наоборот.

В статье рассматривается возможность использования потенциальной теории для решения поставленной задачи. Как известно при потенциальном обтекании могут реализоваться два случая, в первом из которых присутствуют особенности на кромках сечения парашюта. Во втором случае реализуется безударное обтекание потока, т.е. особенности отсутствуют. Согласно теории потенциального обтекания в первом случае существует подсасывающая сила, проекция которой на направление невозмущенной скорости равна и противоположно направлена проекции силы давления на парашют на это же направление. При безударном обтекании такая сила отсутствует.

Согласно физических соображений, подсасывающая сила на кромке гибкой поверхности реализоваться не может (поскольку при безотрывном обтекании под углом атаки 90° гибкая поверхность была бы в равновесии только под действием подсасывающей силы и силы давления , что не соответствует действительности).

Если же считать, что роль подсасывающей силы играет сила натяжения, возникающая за счет подвешенного к парашюту груза, то принципиально можно принять возможным использование потенциальной тории для описания движения парашюта с грузом.

Постановка задачи

Задача состоит в определении формы и аэродинамических сил, действующих на бесконечный нерастяжимый проницаемый парус с хордой b и длиной L (рис. 1) обтекаемый плоским, невязким потоком под углом α, имеющим на бесконечности скорость V_∞.

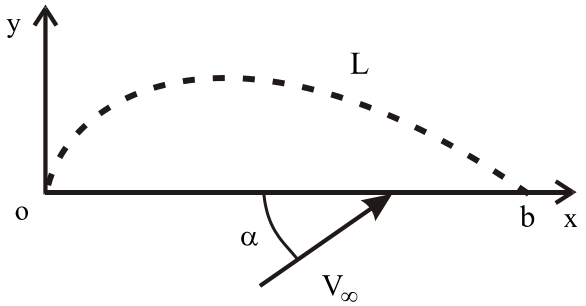

Рис. 1. К постановке задачи

Направление осей системы координат выберем, как это показано на рис. 1. Кроме того будем предполагать, что угол α близок к 90°.

Система уравнений, определяющая решение задачи

В данной работе система уравнений, определяющая решение задачи имеет вид:

© В.А. Захаренко

$$\begin{cases} \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_L \dfrac{\cos\sigma(S,S_0)}{r(S,S_0)}\gamma(s)ds + \\ +V_\infty \dfrac{y'(S_0)\cos\alpha - \sin\alpha}{\sqrt{1+y'^2(S_0)}} = -V_{пр}(S_0); \\ T = -\dfrac{P(S_0)[1+y'^2(S_0)]^{3/2}}{y''(S_0)}, \end{cases} \quad (1)$$

где знаки "+" и "-" обозначают, соответственно, наветренную и подветренную стороны паруса (рис. 2);

$r(S,S_0)$ – расстояние между точкой с дуговой координатой S_0, в которой выполняются граничные условия и любой другой точкой с координатой S, принадлежащей дуге ob паруса;

$\sigma(S,S_0)$ – угол между линией, соединяющей точки с координатами S, S_0 и соответствующей касательной к дуге паруса в точке S_0;

$y(s)$ – уравнение дуги ob паруса;

$\gamma(s)$ –плотность распределенных по дуге паруса особенностей.

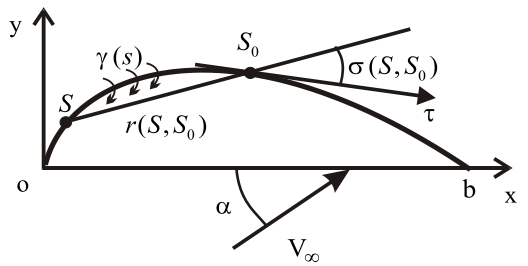

Рис. 2. К определению параметров системы (1)

В системе (1) перепад давлений в точке S_0 определяется по формуле

$$P(S_0) = \frac{\rho}{2}\left[V_+^2(S_0) - V_-^2(S_0)\right], \quad (2)$$

где знаки «+» и «-» означают наветренную и подветренную стороны парашюта.

Скорость проницания потока через купол в точке с координатой S_0 определяется из формулы

$$P(S_0) = b_1 V_{пр}^2, \quad (3)$$

которая взята из [2] (при $a = 0$),

$$b_1 = \frac{\rho_{1H=0}}{2k_w^2}. \quad (4)$$

Коэффициент k_w считается известным.

Определим перепад давлений $P(S_0)$ из второго уравнения системы (1) и подставим полученное выражение в (3).

Разрешив полученное выражение относительно $V_{пр}$ получим

$$V_{пр} = \sqrt{-T\frac{y''(S_0)}{[1+y'^2(S_0)]^{3/2}}}. \quad (5)$$

Подставляя (8) в систему (1) получим систему, которая и дает решение поставленной задачи.

$$\begin{cases} \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_L \dfrac{\cos\sigma(S,S_0)}{r(S,S_0)}\gamma(s)ds + \\ +V_\infty \dfrac{y'(S_0)\cos\alpha - \sin\alpha}{\sqrt{1+y'^2(S_0)}} = -\sqrt{-T\dfrac{y''(S_0)}{[1+y'^2(S_0)]^{3/2}}}; \\ T = -\dfrac{P(S_0)[1+y'^2(S_0)]^{3/2}}{y''(S_0)}. \end{cases} \quad (6)$$

Произвольные постоянные решения системы (6) определяются (см. рис. 2):

1. Двумя условиями закрепления концов дуги $y(x)$

$$y(0) = 0,\ y(b) = 0. \quad (7)$$

2. Заданной длиной обтекаемой дуги

$$L = \int_0^b \sqrt{1+y'^2}\,dx \quad (8)$$

Решив систему (6) при заданном угле атаки и определив произвольные постоянные из условий (7) и (8) можно определить углы φ и ψ, где φ – угол между касательной и осью ox на левой кромке парашюта, а ψ – угол между касательной и осью ox на правой кромке парашюта (рис. 3).

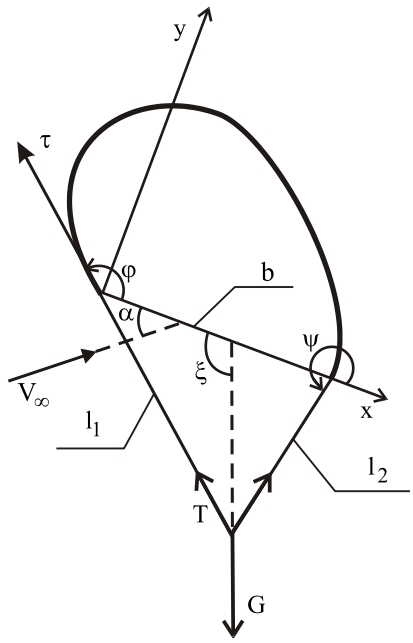

Рис. 3. К определению углов φ, ψ и ξ

По известным значениям φ, ψ и T можно определить необходимую длину строп l_1 и l_2 по формулам:

$$l_1 = -\frac{b\sin\psi}{\sin(\psi-\varphi)};$$

$$l_2 = -\frac{b\sin\varphi}{\sin(\psi-\varphi)}. \qquad (9)$$

Угол ξ между хордой парашюта и радиусом земли определяем по формуле

$$\xi = \frac{\psi+\varphi}{2} - \frac{\pi}{2}.$$

Горизонтальную и вертикальную составляющую скорости парашюта находим по формулам

$$V_{верт} = -V_\infty \sin\left(\frac{\psi+\varphi}{2}+\alpha\right); \qquad (10)$$

$$V_{гор} = -V_\infty \cos\left(\frac{\psi+\varphi}{2}+\alpha\right). \qquad (11)$$

Величину спускаемого груза находим как

$$G = -2T\cdot V_\infty \sin\frac{\psi-\varphi}{2}. \qquad (12)$$

Анализ полученных результатов

Из формулы (12) видно, что вес спускаемого груза зависит от скорости спуска. Если угол атаки $\alpha = 90°$, то $\psi = 2\pi - \varphi$ и длина строп в этом случае будет равн

$$l_1 = l_2 = -\frac{b}{\cos\varphi}, \qquad (13)$$

причем,

$$V_{верт} = -V_\infty;$$

$$V_{гор} = 0; \qquad (14)$$

$$\xi = \frac{\pi}{2},$$

$$G = -2T\cdot V_\infty \sin\varphi. \qquad (15)$$

Система (6) при ее численной реализации решается методом последовательных приближений.

Заключение

В статье рассмотрена возможность применения потенциальной теории к расчету обтекания купола парашюта.

При решении задачи была учтена частичная проницаемость купола парашюта.

Решение полученной системы уравнений, определяющих решение задачи легко реализуется при помощи компьютерных алгоритмов расчета.

Список литературы

1. Захаренко, В.А. Расчет отрывного обтекания некоторых неплоских форм при больших числах Рейнольдса [Текст] / В.А. Захаренко // Авіаційно-космічна техніка і технологія: науково-технічний журнал Нац. аерокосм. ун-та ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». – №1(68). – Х., 2010.– С. 52 - 55.

2. Рахматуллин Х. А. Обтекание проницаемого тела [Текст] / Х.А. Рахматулин // Вестник МГУ. Механика.– № 3. – М.: МГУ, 1950. – С. 41–55.

Поступила в редколлегию 4.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Тюрев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ТА АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВОМІРНОГО ПРОНИКНОГО ПАРАШУТУ

В.О. Захаренко

У роботі розглянуто вплив на розподіл тиску та геометричні параметри парашуту проникності куполу швидкості спуску, кута атаки, довжини строп та ваги вантажу що спускається. Задача вирішувалась з використанням методу розподілених особливостей та в припущеннях, що парашут знаходиться у потенціальному потоці нестисливої рідини під кутом атаки близьким до 90°. Одержано систему рівнянь, яка визначає рішення задачі, що дозволяє також визначити окрім аеродинамічних характеристик парашута і геометричні характеристики підвіски на обраному режимі спуску.

Ключові слова: *парашут, купол, проникність, метод розподілених особливостей, потенціальний потік, кут атаки.*

THE CALCULATION OF SHAPE AND AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF 2-DIMENSIONAL PERMEABLE PARACHUTE

V.A. Zaharenko

The influence of parachute permeability, descent velocity, angle of attack, length of shrouds and load weight on the pressure distribution and geometrical parameters is shown in the article. The problem solved using the method of singularities, potential theory and assumptions that the flow is potential, liquid is uncompressible, angle of attack approximately equal to 90°. The system of equations, which describes the solution of problem, is obtained.

Key words: *parachute, canopy of a parachute, permeability, method of singularities, potential flow, angle of attack.*