УДК 687.016.5:687.14:533.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ СЕГМЕНТА КОНТУРА КРЫЛА КОСТЮМА ДЛЯ ПАРАШЮТНЫХ ВИДОВ СПОРТА

DESIGN OF SHAPE OF THE SEGMENT OF A SUIT WING CONTOUR FOR PARACHUTE-SPORTS

А.В.КОРНИЛОВИЧ, В.Е.КУЗЬМИЧЕВ, МЭЙ ШУНЦИ
A.V. KORNILOVICH, V.E. KUZMICHEV, MEY SHUNTSI

(Ивановская государственная текстильная академия,
Уханьский текстильный университет)
(Ivanovo State Textile Academy;
Wuhan Textile University)
E-mail: ankorn-kshi@mail.ru

Рассматривается задача и ее решение по моделированию формы сегмента контура крыла "wingsuit", находящегося под давлением во время полета. Решение задачи проведено в двухмерной системе координат. Приведены базовые уравнения, описывающие механическое состояние оболочки, а также частное решение уравнений при малых углах наклона касательной к кривой, описывающей геометрию контура. Показано, что при этих условиях парабола является математической моделью для расчета сегмента контура крыла костюма для парашютных видов спорта.

The article deals with the problem and its solution of modeling the shape of the segment of a suit wing contour, which is under pressure during the flight. The problem solution is given in the flat two-dimensional coordinate system. Basic equations describing mechanical state of a shell are presented, as well as a particular equations solution with small inclination to the curve, describing geometry of the contour. It is shown that under these conditions the parabola is a mathematical model for calculation of the segment of a suit wing contour of a parachute-sports costume.

Ключевые слова: моделирование формы, сегмент контура крыла, математическая модель, давление воздуха, методы механики нити.

Keywords: shape modeling, a wing contour segment, a mathematical model, air pressure, methods of thread mechanics.

Развитие экстремальных видов спорта, привлекающих большое число людей, потребовало повышенного внимания к обеспечению их безопасности при пользовании спортивной экипировкой, в том числе одеждой.

Объект исследования – костюм "wingsuit" для парашютных видов спорта, являющийся высокотехнологичным видом спортивной одежды (рис. 1 – технический рисунок костюма "wingsuit" для парашютных видов спорта: вид спереди (а), вид сзади (б), сегменты и нервюры крыла(в)). В настоящее время задача проектирования костюмов для парашютных видов спорта с заданными аэродинамическими параметрами остается нерешенной. Еще не созданы научные основы для разработки таких костюмов, а сами костюмы не включены в перечень тех видов специальной одежды, для которых сформированы методологические принципы обеспечения показателей функциональных свойств на этапе принятия первичных конструкторских решений.

Конструктивной особенностью костюма является наличие дополнительных деталей – крыльев, расположенных между рукавами и станом куртки и между передними и задними частями брюк. На передних частях рукава куртки и передних частях брюк имеются специальные отверстия – воздухозаборники для наполнения костюма воздухом с образованием давления, необходимого для создания подъемной силы и продления фазы полета спортсмена.

Математическое моделирование силового нагружения крыла, как основного несущего элемента костюма, могло бы позволить осуществить проектирование его аэродинамической формы и обеспечить получение прогнозируемых (конструктивно-технологических и эксплуатационных) показателей.

Целью работы является разработка математической модели формы базового элемента костюма "wingsuit" – сегмента контура крыла, что позволит в дальнейшем определить коэффициент аэродинамического сопротивления костюма.

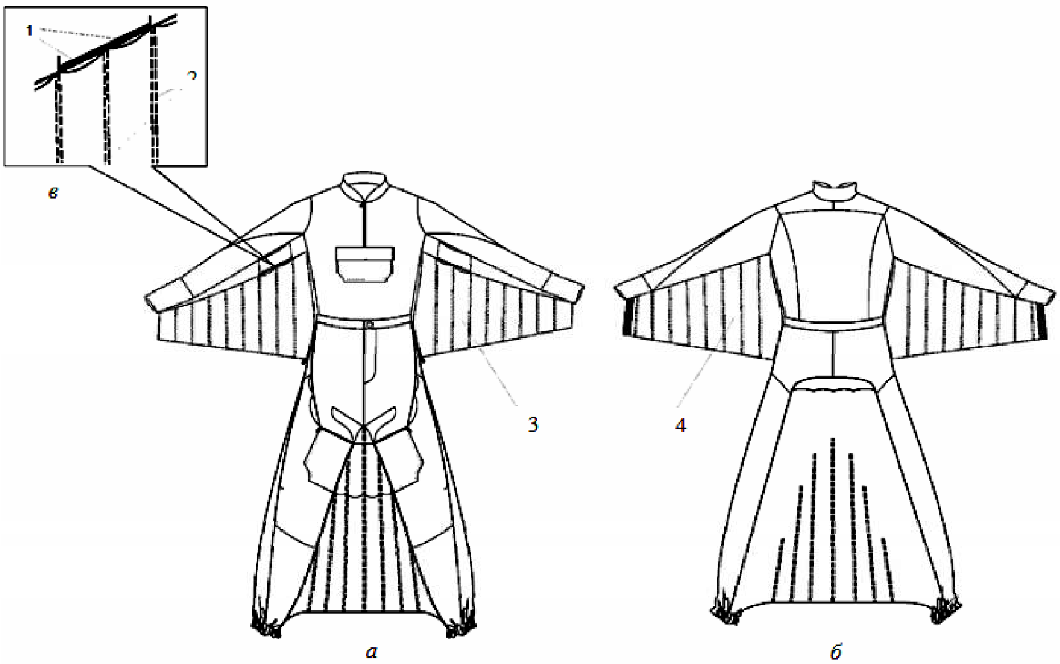

Рис. 1

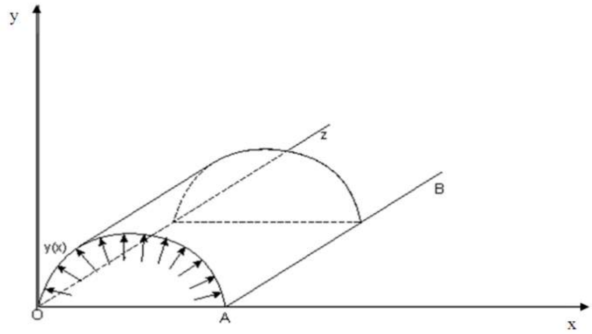

Рис. 2

Выделим в крыле сегмент (рис.1) и рассмотрим условия его пространственного равновесия. Сегмент 1 расположен между параллельными элементами поперечного сечения крыла (нервюрами) 2, соединяющими верхнюю 3 и нижнюю 4 детали крыла, обеспечивающими аэродинамическое качество за счет заданной формы и жесткости профиля и передающими местные нагрузки на стенки деталей крыла.

Примем следующие допущения: оболочка из воздухонепроницаемой ткани закреплена по прямым параллельным линиям Oz и AB (рис. 2 – схема оболочки сегмента контура крыла, закрепленной по оси Oz и прямой AB), соответствующим нервюрам 1 на рис. 1-в; внутри оболочки поддерживается давление воздуха p, благодаря которому она приобретает максимально выпуклую форму; в каждом вертикальном сечении оболочки перпендикулярно оси Oz ее форма будет постоянной.

Полагаем, что задача об описании геометрии тканевой оболочки может быть сведена к определению параметров плоской кривой. Для решения этой задачи применим методы механики ткани [1], [2].

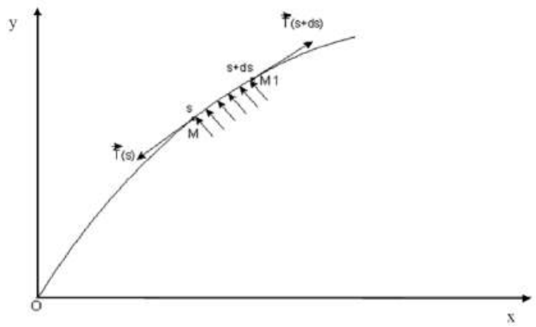

Рис. 3

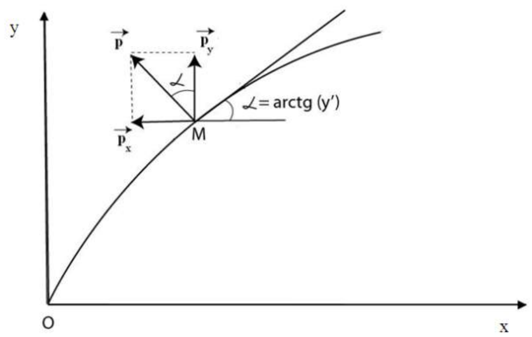

Рис. 4

Рассмотрим нагруженное состояние оболочки на участке вдоль оси Oz, равном единице длины. Введем координату s по контуру ткани (рис. 3 – состояние равновесия бесконечно малого участка сегмента). Пусть точка M имеет координату s . Выделим бесконечно малый элемент ткани MM_1 (рис. 4 – схема разложения вектора p на составляющие p_x и p_y (α – угол наклона касательной в точке M)) и обозначим его длину через ds, тогда точка M_1 будет иметь координату s+ds. Рассмотрим равновесие элемента MM_1. Обозначим рез $\vec{T}$ силу натяжения ткани, действующую на отрезке вдоль оси Oz, равном единице длины. На элемент ds действуют силы натяжения $\vec{T}(s)$и $\vec{T}$(s+ds), а также сила, обусловленная избыточным давлением воздуха внутри сегмента. Уравнение контура ткани, который она приобретает под давлением нагнетаемого в нее воздуха при свободном парении спортсмена, запишется следующим образом [2]:

$$\frac{d\vec{T}}{ds} = \vec{p}, \qquad (1)$$

где $\vec{p}$ – вектор, по величине равный давлению воздуха в оболочке и направленный в каждой точке линии контура оболочки по нормали, Н/м^2.

Векторное уравнение (1) преобразуем к скалярному виду [2]:

$$\begin{aligned} &\frac{d}{ds}\left(T\frac{dx}{ds}\right) + p_x = 0 \\ &\frac{d}{ds}\left(T\frac{dy}{ds}\right) + p_y = 0. \end{aligned} \qquad (2)$$

Так как [2]:

$$ds = \sqrt{1 + y'^2}dx, \quad (3)$$

то из (2) следует, что

$$\frac{d}{dx}\frac{T}{\sqrt{1+(y')^2}} + \sqrt{1 + (y')^2}p_x = 0\,,$$
$$\frac{d}{dx}\frac{T\,(y')^2}{\sqrt{1+(y')^2}} + \sqrt{1 + (y')^2}p_y = 0, \quad (4)$$

где p_x и p_y – проекции вектора $\vec{p}$ на оси Ox и Oy (рис.4).

Обозначим $\alpha = \operatorname{arctg}(y')$. Тогда проекции вектора $\vec{p}$ (рис. 3) имеют вид:

$$p_x = -p\sin\propto, \quad (5)$$
$$p_y = \cos\propto. \quad (6)$$

Решение уравнения (4) в общем случае является сложной задачей. Поэтому рассмотрим приближенное решение (4), принимая во внимание такие варианты геометрии оболочки, когда величина угла наклона касательной к линии контура оболочки по линиям ее крепления вдоль прямых Oz и AB не превосходит 25...30°. В этом случае выполняется условие $(y')^2$<<1. Тогда система уравнений (4) примет вид:

$$\frac{dT}{dx} - py' = 0$$
$$\frac{d(Ty')}{dx} + p = 0. \quad (7)$$

После дифференцирования T и Ty' в правых частях уравнений (7) имеем:

$$T' - py' = 0,$$
$$T'y' - y''T + p = 0. \quad (8)$$

Умножение второго уравнения системы (8) на y'' дает:

$$T'(y')^2 + Ty'y'' + py' = 0. \quad (9)$$

Складывая первое уравнение из (7) и (9), имеем:

$$\left[T' - py'\right] + \left[T'(y')^2 + Ty'y'' + py'\right] = 0$$

или

$$T' + T'(y')^2 + Ty'y'' = 0. \quad (10)$$

Преобразовывая (10), находим, что

$$T'\left[1 + (y')^2\right] + Ty'y'' = 0.$$

Так как $(y')^2 \ll 1$, то отсюда следует, что

$$T' + Ty'y'' = 0. \quad (11)$$

Преобразуем $(y')^2$ следующим образом:

$$\frac{d(y')^2}{dx} = \frac{d(y')^2}{dy'}\frac{dy'}{dx} = 2y'y''.$$

Следовательно,

$$y'y'' = 0{,}5\frac{d(y')^2}{dx}.$$

Таким образом, уравнение (11) можно привести к следующему виду:

$$\frac{T'}{T} + 0{,}5\frac{d(y')^2}{dx} = 0. \quad (12)$$

Интегрируя (12) , получаем соотношение:

$$\ln T + 0{,}5(y')^2 = C^*$$

или

$$\ln T = C^* - 0{,}5(y')^2.$$

Тогда сила натяжения, действующая на ткань базового элемента после попадания в него воздуха, равна

$$T = (\exp C^*)\exp[-0{,}5(y')^2]\ . \quad (13)$$

Так как $(y')^2 \ll 1$, то экспоненту в (13) можно разложить в ряд

$$\exp[-0,5(y')^2] \approx 1 - 0,5(y')^2. \qquad (14)$$

Поскольку величина $0,5(y')^2 \ll 1$, то приближенно считаем, что

$$\exp[-0,5(y')^2] \approx 1 \;. \qquad (15)$$

Соотношение (15) позволяет сделать вывод, что по всему контуру ткани натяжение постоянно: T = const.

Обозначим $C = \exp(C^*)$.

Из второго уравнения системы (7) следует, что

$$y'' + \frac{p}{C} = 0. \qquad (16)$$

Решением уравнения (16) является парабола:

$$y = ax\,(\,\tau - x), \qquad (17)$$

где a, τ – параметры, определяющие форму сегмента контура крыла.

Таким образом, выведена зависимость (17), которая описывает линию сегмента контура оболочки крыла. Зависимость (17) является основой для оптимизации количества сегментов крыла костюма для парашютных видов спорта и в дальнейшем будет применена для исследования зависимости площади поперечных сечений сегментов крыла от их количества.

ВЫВОДЫ

1. Получена система дифференциальных уравнений, моделирующих напряженное состояние тканевой оболочки сегмента крыла костюма "wingsuit", находящейся под напором воздуха во время полета.

2. Математически установлено, что линию контура поперечного сечения тканевой оболочки сегмента крыла костюма "wingsuit" можно описать параболой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мигушов И.И.* Механика текстильной нити и ткани. – М.: Легкая индустрия, 1980.

2. *Меркин Д.Р.* Введение в механику гибкой нити. – М.: Наука, 1980.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий ИГТА. Поступила 03.12.12.