

УДК. 687.016:658.011.56

## РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАТЯЖЕНИЯ ТКАНИ В КРЫЛЕ КОСТЮМА ДЛЯ ПАРАШЮТНЫХ ВИДОВ СПОРТА

Корнилович А.В., ст. преп.

Ивановский государственный политехнический университет (ИВГПУ),  
г. Иваново, Российская Федерация

Костюм для парашютных видов спорта (wingsuit) – наиболее сложный и наименее изученный вид специальной спортивной одежды. Конструктивной особенностью костюма, используемого в экстремальных условиях эксплуатации - в воздушной среде, является наличие трех двухслойных крыльев, наполняемых под давлением через воздухозаборники набегающим потоком (ram-air) и приобретающих особую, необходимую для увеличения подъемной силы, аэродинамическую форму. Однако влияние конструктивного устройства костюма на его аэродинамическое качество в воздушной среде до сих пор не формализовано.

Крыло wingsuit работает только под напором встречного потока воздуха при полете спортсмена, что позволяет отнести его к классу *мягких надувных оболочек*.

При анализе открытых литературных источников по теории крыла wingsuit было выявлено, что в них не содержится информация о каких-либо исследованиях в данной области, поэтому разработки с использованием методов теории мягких оболочек, представленные автором, являются актуальными и перспективными.

Объектом исследований в данной работе является крыло костюма для парашютных видов спорта в статическом и динамическом состояниях.

В крыле костюма был выделен сегмент 1, расположенный между параллельными элементами (нервюрами) 2 (рис.1), соединяющими нижнюю 3 и верхнюю 4 детали крыла, и рассмотрены условия его пространственного равновесия.

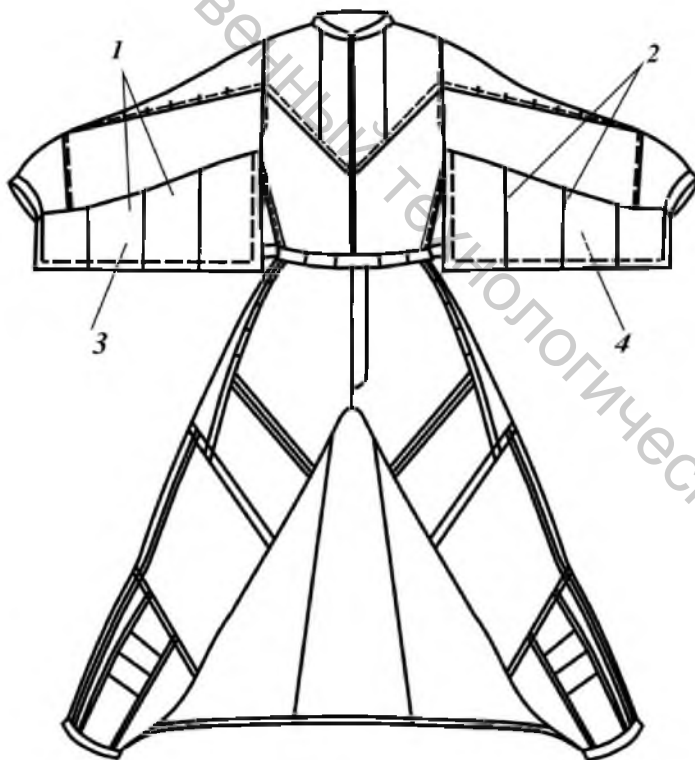


Рисунок 1 – Технический рисунок костюма-аналога

До начала полета спортсмена крыло находится в статическом состоянии (рис.2,а). Внутри оболочки сегмента 1 давление воздуха равно атмосферному на высоте точки начала полета спортсмена. Нервюры 2 находятся в сложенном состоянии, а нижняя 3 и верхняя 4 детали оболочки расправлены. В следующей фазе полета под действием скоростного напора воздуха давление внутри сегмента крыла нарастает до тех пор, пока избыточное давление не станет равным динамическому давлению  $p$  (рис.2,б). В этот период нервюры 2' расправляются, нижняя 3 и верхняя 4 оболочки сегмента приобретают выпуклую форму, при этом расстояние между нервюрами уменьшается.

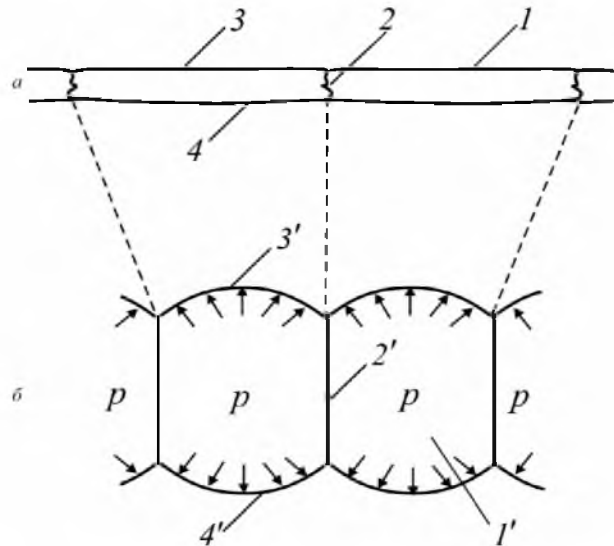


Рисунок 2 – Схема поперечного сечения сегментов крыла в статическом (а) и динамическом (б) состояниях

На рис.3 изображена геометрическая модель фрагмента сегмента крыла в динамическом состоянии. При моделировании принималось, что ткань обладает воздухонепроницаемостью, идеальной гибкостью и невесома.

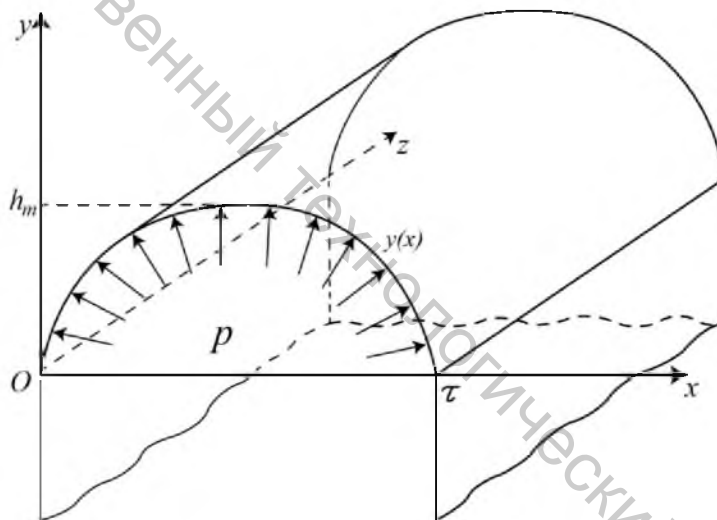


Рисунок 3 – Схема фрагмента оболочки сегмента крыла в динамическом состоянии:  
 $p = 0,5\rho_a v^2$  - динамическое давление;  $v$  - скорость спортсмена;  $\rho_a$  - плотность воздуха;  $\tau$  - длина основания сегмента,  $h_m$  - высота сегмента

Под напором воздуха в продольном сечении сегмента крыла действует натяжение  $P$  [Н/м]. С целью определения натяжения сегмента крыла и вывода уравнения линии его контура проведено моделирование динамического состояния сегмента, находящегося под напором воздуха при свободном парении спортсмена [1].

На основании законов механики [2-4] выведена следующая система уравнений, моделирующих динамическое состояние сегмента крыла и связывающих величину натяжения в сегменте крыла  $P(x)$  с зависимостью  $y(x)$ :

$$\begin{aligned} P'(x)\{1 - 0,5[y'(x)]^2\} - P(x)[y'(x)]^2 y''(x) - p y'(x) &= 0; \\ y'(x) y''(x) \{1 - 1,5[y'(x)]^2\} + P'(x) y'(x) \{1 - 0,5[y'(x)]^2\} + p &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Из (1) следует, что дифференциальное уравнение, задающее линию контура сегмента крыла, имеет вид:  
 $y'''(x) - 3[y''(x)]^2 y'(x) = 0.$  (2)

Граничные условия для решения уравнения (2):

$$y(0) = y(\tau) = 0; y'(0) = y'_0; y'(\tau) = -y'_0; y(0,5\tau) = h_m. \quad (3)$$

Получено промежуточное решение уравнения (2)

$$\frac{dy}{dx} = \pm \left\{ -\frac{2}{3} \ln(C_2 + 2C_1 y(x)) \right\}^{0,5}, \quad (4)$$

где  $0 < C_2 + 2C_1y(x) \leq 1$ ;  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные.

Знак плюс перед корнем в (4) соответствует восходящей линии контура сегмента крыла ( $0 \leq x < 0,5\tau$ ), а знак минус – нисходящей линии этого контура ( $0,5\tau < x \leq \tau$ ).

Показано, что решением (4) является зависимость  $y = y(x)$ , когда константы  $C_1$  и  $C_2$  определяются по следующим формулам:

$$C_1 = \frac{1 - \exp(-1,5(y'_0)^2)}{2h_m}; \quad C_2 = \exp(-1,5(y'_0)^2), \quad (5)$$

а величина  $y'_0$  – путем решения нелинейного уравнения

$$\int_0^{h_m} \left\{ -\frac{2}{3} \ln \left[ \frac{y + \exp(-1,5(y'_0)^2)(h_m - y)}{h_m} \right] \right\}^{-0,5} dy = 0,5\tau. \quad (6)$$

Доказано, что натяжение, испытываемое тканью сегмента при полете спортсмена, определяется соотношением

$$P = \frac{p[1 + 1,5(y')^2]}{|y''|}. \quad (7)$$

На основе законов механики разработана математическая модель напряженного состояния сегмента крыла. Полученная модель представляет собой два дифференциальных уравнения, связывающих координату линии контура сегмента крыла с величиной натяжения в его оболочке. Разработана математическая модель для расчета натяжения ткани в сегменте крыла.

Предложенные математические модели были использованы для прогнозирования надежности и безопасности костюма при эксплуатации, а также оптимизации конструктивных параметров крыла wingsuit с целью повышения резерва его аэродинамических свойств.

#### Список использованных источников

1. Корнилович, А.В. Гибридное моделирование как инструмент для оптимизации конструктивных параметров крыла костюма wingsuit / А.В. Корнилович // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10 (часть 1). – стр. 30-34; URL: [www.rae.ru/fs/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=10001419](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10001419) (дата публикации: 1.08.2013).
2. Мигушов, И.И. Механика текстильной нити и ткани / И.И. Мигушов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 160 с.
3. Меркин, Д.Р. Введение в механику гибкой нити / Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1980. – 240 с.
4. Федосеев, Г.Н. Прикладная механика нити, ткани и трикотажа / Г.Н. Федосеев. – Витебск: ВГТУ, 2009. – 58 с.

УДК 685.3:620.1

## ЭКСПРЕСС-УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ

**Котин И.М., ст. преп.,**

*ВФ УО ФПБ «Международный университет «МИТСО»,*

*г. Витебск, Республика Беларусь*

**Скачкова О.Г., ст. преп.,**

*ВП «МОИУП», г. Витебск, Республика Беларусь*

Основными свойствами обувных изделий из натуральной кожи в процессе производства и эксплуатации являются деформационно-прочностные свойства. Они определяют как функциональные показатели обуви, так и эстетические, поэтому непосредственно влияют на качество изделия. Недостаточное исследование деформационно-прочностных свойств материалов для верха обуви в процессе входного контроля является одной из причин снижения качества готовой обуви. Это также приводит к возникновению брака уже на отдельных стадиях технологического процесса производства.

Известно, что при формировании верха обуви и в процессе носки изделие подвергается сложной деформации с преобладанием двухосного растяжения. Отечественные стандарты для оценки свойств материалов верха обуви при двухосной деформации предусматривают использование разрывной машины со специальным приспособлением [1], а также прибора ПОИК [2]. Однако данные виды исследований на отечественных обувных предприятиях практически не производят, т.к. большинство предприятий не имеют достаточной базы для проведения испытаний. К тому же стационарное оборудование, применяемое в стандартных методиках, делает невозможным проведение исследований непосредственно на отдельных стадиях технологического процесса, а также снижает оперативность контроля качества.

Областью применения предлагаемого экспресс-устройства являются входной и текущий контроль и оценка качества материалов, а именно: определение прочности материалов, систем материалов для верха обуви и прочности лицевого слоя при продавливании шариком, сферой, а также пуансонами различной формы, имитирующей носочную часть обуви.