

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ  
КАМУФЛИРУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ**

**MATHEMATICAL ASPECTS  
OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS  
IN MANUFACTURE OF CAMOUFLAGE CLOTHING**

*И.Ю. БЕЛОВА, Н.Г. ТОМИН*  
*I.YU.BELOVA, N.G.TOMIN*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)  
(Ivanovo State Polytechnic University. Textile Institute)  
E-mail: belovairina2012@mail.ru

*Обосновано конструкторско-технологическое решение промышленного изготовления многослойного теплоизоляционного материала для камуфлирующей одежды военнослужащих.*

*Grounded design and technological solution of the industrial production of multilayer insulation material for camouflage clothing military.*

**Ключевые слова:** камуфлирующая одежда, многослойный теплоизоляционный материал, конструкторско-технологическая проработка.

**Keywords:** camouflage clothing, a multilayer thermal insulation material, design and technological examination.

Под невидимостью часто понимают неразличимость объекта наблюдения для человеческого глаза в определенных условиях микроклимата, местности, времени суток и т.д. Человек видит физические объекты благодаря тому, что от них отражаются световые лучи, попадающие затем на сетчатку глаз. Маскировка, основанная на цветовом и фактурном слиянии человека с окружающей средой, обеспечивает хороший визуальный камуфляж военнослужащего в дневное и ночное время суток только в том случае, если наблюдатель не оснащен специальными средствами обнаружения, то есть приборами, детектирующими тепловое (инфракрасное) излучение. В материалах статьи [1] подробно изложено запатентованное [2] конструкторско-технологическое решение многослойного материала, обеспечивающего электромагнитный камуфляж (невидимость) военнослужащего в дневное и ночное время суток, а также при необходимости радиоло-

ционный камуфляж, при «наращивании» конфекциона, то есть усиления его материалами специального назначения.

Опытные образцы камуфлирующих костюмов, изготовленные в условиях экспериментальной лаборатории, прошли успешные полевые испытания в 15 НИИ обороны г. Нахабино, однако серийное изготовление разработанной многослойной конструкции невозможно без серьезной конструкторско-технологической проработки, обеспечивающей возможность бездефектного изготовления изделий с минимальными затратами трудовых и сырьевых ресурсов в условиях промышленных предприятий.

Наибольший интерес, с позиции обеспечения невидимости объекта в ночное время суток, представляет конструктивное решение многослойного материала, изображенное на рис. 1.

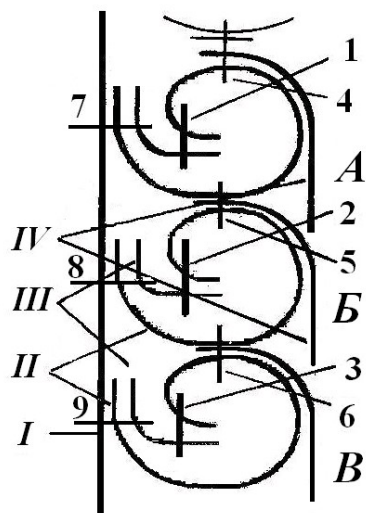


Рис. 1

Конструктивные элементы материала сформированы деталями прямоугольной формы и соединяются сначала с промежуточными соединительными элементами ниточным способом строчками 1, 2 и 3, затем друг с другом строчками 3, 4 и 5, после чего с основным слоем строчками 7, 8 и 9 таким образом, что в результате принимают цилиндрическую форму и располагаются на основном слое непрерывными рядами, плотно примыкающими друг к другу, и соединены с ним через промежуточные соединительные элементы.

Римскими цифрами I, II, III и VI на рис. 1 обозначены структурные составляющие многослойного материала, где I – основной слой, II – конструктивные элементы, сформированные в дополнительный слой, III – маскировочный слой и VI – промежуточные соединительные элементы, а арабскими цифрами – порядок выполнения строчек ниточного, ниточного клеевого или сварного соединения конструктивных элементов между собой, с промежуточными соединительными элементами и с основным слоем. Буквами А, Б и В обозначены сформированные конструктивными элементами ряды, формирующие дополнительный слой. Форма конструктивных элементов дополнительного слоя и порядок их расположения на основном слое создают искусственную систему теплообмена теплового потока, поступающего от человека с воздухом окру-

жающей среды. Основным слоем многослойного материала I, прилегающий к телу биологического объекта, принимает на себя основной «тепловой удар» и благодаря его теплопроводным свойствам, слоистой структуре, содержащей металлизированное покрытие, удерживает (аккумулирует на себя) тепло, уменьшая скорость теплоотдачи в окружающую среду. Для обеспечения невидимости биологического объекта приборами, детектирующими инфракрасное (тепловое) излучение формой и порядком расположения конструктивных элементов, сформированных в дополнительный слой II, предусмотрена возможность обтекания поверхности биологического объекта воздушной массой более низкой температуры. Движение биологического объекта способствует увеличению скорости движения окружающих его воздушных потоков и росту интенсивности теплоотдачи, что сопровождается усилением процессов теплообмена в ограниченном пространстве дополнительного слоя II, сформированном конструктивными элементами. Наличием металлизированного покрытия, формой и прерывистым порядком расположения конструктивных элементов обеспечивается возможность беспрепятственного смешивания движущихся воздушных масс и выравнивание температуры теплового потока,двигающегося от биологического объекта с воздухом окружающей среды более низкой температуры. Тепловое равновесие, обеспечиваемое теплообменниками, способствует невозможности обнаружения биологического объекта приборами, детектирующими тепловое излучение. Маскировочный слой III, сформированный маскировочными элементами, становится барьером направленного движения теплового потока в окружающую среду и способствует его рассеиванию в том случае, когда температурное равновесие полностью не достигнуто. Чем интенсивнее воздушный поток, тем быстрее и хаотичнее двигаются маскировочные элементы, рассеивая направленный тепловой поток.

Однако такой принцип функционирования системы теплообмена и соответ-

ственно экранирования возможен только при идеальном расположении конструктивных элементов на основном слое материала, позволяющем получить форму, ограничивающую максимально большой объем воздушного пространства, то есть имеющих в сечении правильную окружность. При расстоянии между точками А и В, то есть точками соединения конструктивных элементов с основным слоем в "рабочем" состоянии, должно быть равно  $2R$  (рис. 2).

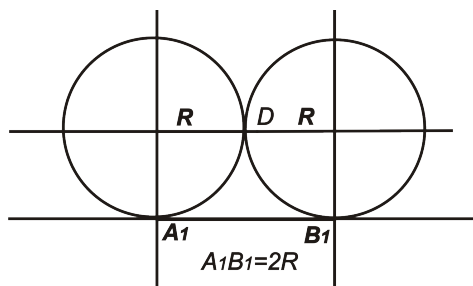


Рис. 2

Под "рабочим" в данном случае понимается не плоскостное положение детали швейного изделия, имеющее место на стадии ее раскроя, а реальное, огибающее участок тела определенного радиуса кривизны. Расположение конструктивных элементов на плоскости строго в рамках соответствия длины отрезка  $A_1B_1$  величине  $2R$  (рис. 3) существенно ограничивает "подвижность" конструкции многослойного материала при формировании из него деталей швейного изделия, покрывающих тело человека (полочка, спинка, рукава и др.).

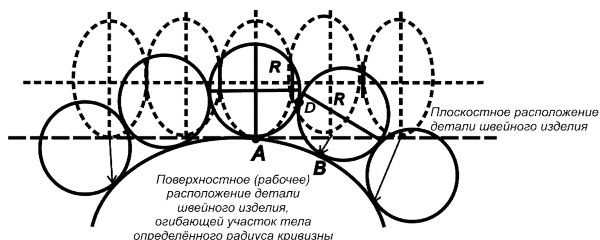


Рис. 3

Расстояние между точками соединения конструктивных элементов с основным слоем и между собой должно обеспечивать

"подвижность" конструкции при переводе плоского материала в поверхность, огибающую участки тела соответствующей кривизны. При этом не должно происходить сплющивания конструктивных элементов дополнительного слоя в горизонтальной плоскости.

При переводе плоскости в поверхность определенной кривизны, то есть при изготовлении деталей одежды из многослойного материала, конструктивные элементы в форме сплюснутого по бокам цилиндра, имеющего в сечении эллипс, приобретают форму правильных цилиндров, имеющих в сечении окружность (рис. 3). Геометрические характеристики и размерные параметры преобразования конструкции зависят от расстояния между точками А и В, а также размера (площади поверхности или радиуса окружности в сечении) конструктивных элементов. Чем больше радиус кривизны детали изделия (рукава, полочки, спинка и др.), тем меньше должно быть расстояние между точками соединения конструктивных элементов с основным слоем. Необходимо отметить, что экспериментальная конструкторско-технологическая проработка многослойного материала методами макетирования занимает много времени и не обеспечивает хорошего качества проработки. Для получения точных данных зависимости размера конструктивных элементов, расстояния между точками их соединения с основным слоем на плоскости и точками соединения между собой при разных значениях радиуса кривизны огибающей поверхности использовался простейший геометрический анализ конструкции (рис.4).

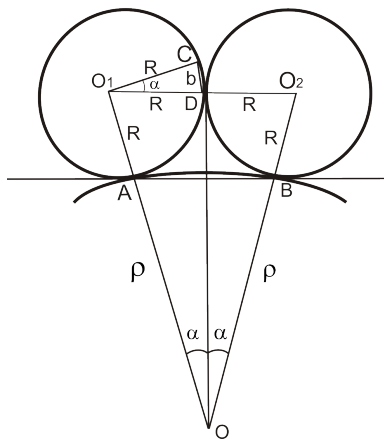


Рис. 4

На рис. 4 обе верхние окружности радиуса  $R$  касаются друг друга в точке  $D$  и касаются третьей окружности радиуса  $\rho$  соответственно в точках  $A$  и  $B$ . Равнобедренные треугольники  $OO_1O_2$  и  $OAB$  подобны, прямые  $O_1O_2$  и  $AB$  параллельны,  $OD$  есть биссектриса, медиана и высота треугольника  $OO_1O_2$ . Далее:  $\angle CO_1D = \angle O_1OD = \alpha$ , поскольку стороны этих углов соответственно взаимно перпендикулярны ( $O_1D \perp OD$  и по построению  $O_1C \perp O_1O$ ). Из прямоугольного треугольника  $O_1OD$  находим:

$$\sin \alpha = \frac{R}{R + \rho} = \frac{1}{1 + u}, \quad (1)$$

где  $u = \frac{\rho}{R}$  – безразмерная величина. В наших условиях можно считать, что  $5 \leq u \leq 10$ .

Длина  $b$  основания  $CD$  равнобедренного треугольника  $CO_1D$  с боковыми сторонами  $O_1C$  и  $O_1D$  длины  $R$  и углом  $\alpha$  при вершине  $O_1$  вычисляется по формуле:

$$b = 2R \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Так как  $\alpha$  – острый угол, то

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}$$

и, используя (1), получаем

$$\frac{b}{R} = \sqrt{2 \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1}{(u+1)^2}} \right)}. \quad (2)$$

Функция (2) непрерывна и убывает от  $\sqrt{2}$  до 0 с ростом  $u$  от 0 до  $+\infty$ .

Длина  $s$  дуги  $AB$  окружности радиуса  $\rho$  с центральным углом  $2\alpha$  находится по формуле  $s = 2\rho\alpha$ . Отсюда ввиду (1) следует выражение  $s/R$  через  $\alpha$ :

$$\frac{s}{R} = 2\alpha \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) \quad (0 < \alpha < \pi/2).$$

С помощью (1) можно найти также выражение  $s/R$  через  $u$ :

$$\frac{s}{R} = 2u \arcsin \frac{1}{1+u} \quad (u > 0). \quad (3)$$

Полагая  $x = \frac{1}{1+u}$ , получаем

$$\frac{s}{R} = \frac{2(1-x)}{x} \arcsin x \quad (0 < x < 1).$$

Для функции

$$f(x) = \frac{x}{1-x} - \arcsin x \quad (0 \leq x < 1)$$

производная имеет вид:

$$f'(x) = \frac{1}{(1-x)^2} - \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad (0 < x < 1).$$

Так как для всех  $x$  из  $(0,1)$  справедливы неравенства

$$\sqrt{1-x^2} > 1-x^2 = (1-x)(1+x) > (1-x)^2 > 0,$$

то для таких  $x$  находим  $f'(x) > 0$ , откуда с учетом непрерывности  $f(x)$  на  $[0,1)$  вытекает возрастание  $f(x)$  на  $[0,1)$ . Отсюда следует, что при всех  $x$  из  $(0,1)$  выполняется неравенство  $f(x) > f(0) = 0$ , то есть неравенство

$$\arcsin x < \frac{x}{1-x} \quad s < 2R. \quad (4)$$

Возвращаясь к переменной  $u$ , получаем:

$$\arcsin \frac{1}{1+u} < \frac{1}{u} \quad (u > 0).$$

Из этого неравенства и из (3) следует неравенство:

В силу (4) длина дуги АВ меньше диаметра  $2R$  любой из двух верхних соприкасающихся окружностей.

Заметим, что функция (3) непрерывна и возрастает от 0 до 2 с ростом  $u$  от 0 до  $+\infty$ .

Приведем таблицу значений функций (2) и (3) при  $5 \leq u \leq 10$  с шагом  $h=0,1$ . Из нее, в частности, видно, что  $b/R$  убывает от 0,167 до 0,091, а  $s/R$  возрастает от 1,674 до 1,821 с ростом  $u$  от 5 до 10.

Т а б л и ц а 1

u	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2	6,3
b/R	0,167	0,164	0,162	0,159	0,157	0,154	0,152	0,150	0,147	0,145	0,143	0,141	0,139	0,137
s/R	1,674	1,680	1,685	1,690	1,694	1,699	1,704	1,708	1,712	1,716	1,720	1,724	1,728	1,731
u	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	6,9	7,0	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7
b/R	0,135	0,134	0,132	0,130	0,128	0,127	0,125	0,124	0,122	0,121	0,119	0,118	0,116	0,115
s/R	1,735	1,739	1,742	1,745	1,748	1,751	1,755	1,758	1,760	1,763	1,766	1,769	1,771	1,774
u	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1
b/R	0,114	0,113	0,111	0,110	0,109	0,108	0,107	0,105	0,104	0,103	0,102	0,101	0,100	0,099
s/R	1,777	1,779	1,781	1,784	1,786	1,788	1,791	1,793	1,795	1,797	1,799	1,801	1,803	1,805
u	9,2	9,3	9,4	9,5	9,6	9,7	9,8	9,9	10,0					
b/R	0,098	0,097	0,096	0,095	0,094	0,094	0,093	0,092	0,091					
s/R	1,807	1,809	1,810	1,812	1,814	1,816	1,817	1,819	1,821					

Табличные данные позволяют упростить процесс конструкторско-технологической проработки камуфлирующих изделий, определять рапорт соединения конструктивных элементов с основным слоем материала в зависимости от радиуса кривизны огибающей поверхности и их размеров.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Белова И.Ю., Веселов В.В., Горберг Б.Л. Разработка и исследование экранирующих свойств

пакета материалов в изделиях специального назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, № 1. С. 96...100.

2. Патент на изобретение №2415622 МПК А41D 31/02. Многослойный теплоизолирующий материал/ Горберг Б.Л. и др., заявитель и патентообладатель Горберг Б.Л. и др., заявл. 11.05.2010, опубл. 10.04.2011, бюл. № 10.

Рекомендована кафедрой технологии швейных изделий. Поступила 28.11.13.