

УДК 623.445.1:514.851

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ КАРКАСНОЙ СТОЙКИ В БРОНЕЖИЛЕТЕ

*Н.А. САХАРОВА, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ, И.И. КОМИССАРОВ*

(Ивановская государственная текстильная академия)

Одной из наиболее серьезных проблем, возникающих при эксплуатации бронежилетов, является проблема повышенного давления на опорную поверхность тела человека, вызывающего болевые ощущения в позвоночнике и появление гематом на плечевом поясе.

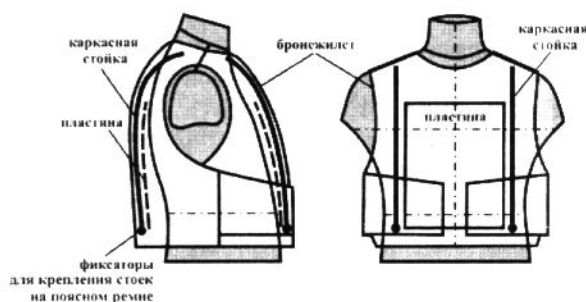


Рис. 1

Нами предложено новое конструктивное решение по разгрузке области плеч за счет введения в конструкцию бронежилета каркасных стоек (рис.1). Закрепление нижних концов стоек на пояском ремне носчика с помощью фиксаторов дает возможность перемещения бронежилета вверх и снятия нагрузки с плечевого пояса.

Основными параметрами стоек являются длина, ширина и толщина. Длина стоек выбрана нами таким образом, чтобы в свободном состоянии их не было видно из-под нижнего края изделия, а при фиксации на пояском ремне они обеспечивали

бы минимально необходимую (порядка 1,5÷2,0 см) высоту подъема бронежилета над плечами. Такая величина высоты подъема достаточна для разгрузки области плеч и перераспределения давления на нижнюю опорную поверхность. Ширина стоек определена конструктивно исходя из общей площади секций бронежилета и площади, занимаемой бронепластиной.

Ниже представлен расчет по определению толщины  $b$  передней каркасной стойки бронежилета.

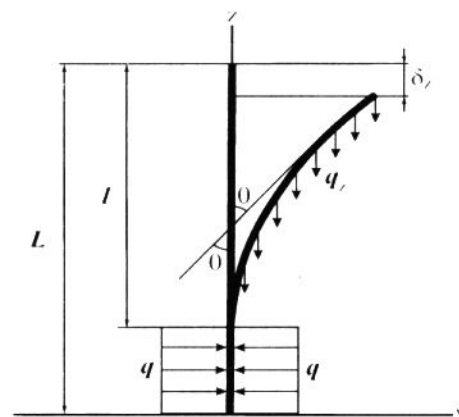


Рис. 2

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1, а расчетная схема представлена на рис. 2 (— каркасная стойка).

Наименование параметра	Условное обозначение
Вес бронезилета	G
Вес грудки бронезилета	G <sub>г</sub>
Вес спинки бронезилета	G <sub>с</sub>
Площадь контакта бронезилета с корпусом тела человека	F
Среднее нормальное давление на корпус тела человека	N <sub>н</sub> = qF
Длина каркасной стойки	L
Ширина каркасной стойки	h
Коэффициент трения (между подкладкой бронезилета и нижележащим слоем, например, кителем)	f
Среднее ускорение прямолинейного движения человека	a

На расчетной схеме (рис. 2) обозначены:  $\ell$  – длина стойки, не зажатая боковым регулятором бронезилета (длина гибкой части стойки)  $\ell = 3/4L$ ;  $q_z$  – нагрузка, которая выводит каркасную стойку из состояния прямолинейной формы равновесия в криволинейную;  $\delta_z$  – вертикальное перемещение верхнего конца стойки при ее изгибании;  $\theta$  – угол отклонения каркасной стойки от прямолинейного положения.

Сила  $F_{\text{сц}}$  сцепления между подкладкой бронезилета и нижележащим слоем равна

$$F_{\text{сц}} = f(N_n + \Phi), \quad (1)$$

где  $\Phi$  – сила инерции, создаваемая массой бронезилета, рассчитываемая по формуле

$$\Phi = \Phi_g + \Phi_c = \frac{G_g}{g}a + \frac{G_c}{g}a, \quad (2)$$

где  $\Phi_g$  и  $\Phi_c$  – силы инерции, создаваемые массой соответственно грудки и спинки бронезилета;  $g$  – ускорение свободного падения.

Уравнение кинестатики для грудки бронезилета имеет вид

$$\sum F_z = -\frac{G_g}{2} + \frac{F_{\text{сц}}}{2} + q_z \ell = 0, \quad (3)$$

где  $\sum F$  – сумма действующих сил;  $q_z \ell$  – реактивная сила, распределенная равномерно по каркасной стойке с интенсивностью  $q_z$  (рис. 2):

$$q_z = \frac{0,5}{\ell} \left[ G_g - f \left( N_n + \frac{G_g}{g}a + \frac{G_c}{g}a \right) \right]. \quad (4)$$

Минимальное значение нагрузки  $q_z$ , которое выводит каркасную стойку из состояния прямолинейной формы равновесия в криволинейную, является критическим ( $q_{\text{кр}}$ ).

Уравнение упругой изогнутой линии оси стойки имеет вид:

$$y = C \left( 1 - \cos \frac{\pi Z}{2\ell} \right) = C(1 - \cos AZ), \quad (5)$$

где  $A = \pi/2\ell$ .

Граничные условия:

$$\begin{aligned} Z = 0, & \quad y = 0; \\ Z = \ell, & \quad y = y_{\text{max}} = C. \end{aligned}$$

Найдем потенциальную энергию изгиба каркасной стойки и приравняем ее к работе от равномерно распределенной нагрузки.

Энергию изгиба определим по формуле

$$U = \int_0^{\ell} \frac{M^2 dz}{2EJ_x}, \quad (6)$$

где  $M$  – момент силы;  $E$  – модуль упругости материала каркасной стойки;  $J_x$  – момент инерции.

Момент  $M$  силы определим следующим образом:

$$M = EJ_x y'''. \quad (7)$$

Подставив (7) в (6), получим

$$U = \frac{1}{2EJ_x} \int_0^\ell (EJ_x y'' )^2 dz, \quad (8)$$

$$y'' = \frac{dy'}{dz} = \frac{d(AC \sin AZ)}{dz} = A^2 C \cos AZ \Rightarrow, (9)$$

$$U = \frac{1}{2EJ_x} \int_0^\ell (EJ_x A^2 C \cos AZ)^2 dz = \frac{1}{2} EJ_x A^4 C^2 \int_0^\ell \cos^2 AZ dz, \quad (10)$$

$$\int_0^\ell \cos^2 AZ dz = \frac{1}{2} z \Big|_0^\ell + \frac{1}{2} \int_0^\ell \cos \frac{\pi Z}{\ell} dz = \frac{\ell}{2} + \frac{1}{2} \frac{\ell}{\pi} \sin \frac{\pi Z}{\ell} \Big|_0^\ell = \frac{\ell}{2}. \quad (11)$$

Окончательно энергия изгиба равна

$$U = \frac{1}{4} EJ_x y_{\max}^2 \ell A^4. \quad (12)$$

Работу  $A^*$  от внешней нагрузки определяем интегрированием:

$$A^* = \int_0^\ell q_z \delta_z dz, \quad (13)$$

где  $\delta_z$  – вертикальное перемещение верхнего конца каркасной стойки, равное разности длины  $\ell$  стойки и проекции изогнутой оси упругой линии на прямую (рис. 2).

Таким образом, вертикальное перемещение равно

$$d\delta_z = dz - dz \cos \theta \cong dz \left( 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right). \quad (14)$$

При малых углах наклона  $\theta$ :

$$\sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{\theta^2}{4}, \quad (15)$$

$$d\delta_z \cong \frac{\theta^2}{2} dz, \quad (16)$$

$$\theta = \frac{dy}{dz}. \quad (17)$$

Тогда будем иметь:

$$\delta_z = \frac{1}{2} \int_0^z (y')^2 dz = \frac{1}{2} y_{\max}^2 A^2 \left( \frac{Z}{2} - \frac{1}{4A} \sin 2AZ \right), \quad (18)$$

где  $y' = y_{\max} A \sin AZ$ .

Работа  $A^*$  от сил  $q$  равна:

$$A^* = \frac{1}{2} \int_0^\ell q_z \left[ \frac{1}{2} y_{\max}^2 A^2 \left( \frac{Z}{2} - \frac{1}{4A} \sin 2AZ \right) \right] dz \Rightarrow, \quad (19)$$

$$A^* = \frac{1}{4} q_z y_{\max}^2 A^2 \left( \frac{\ell^2}{2} - \frac{1}{2A^2} \right). \quad (20)$$

Приравнивая работу (20) энергии

изгиба (12), получаем

$$q_z = q_{кр} = \frac{U}{\frac{1}{4} y_{\max}^2 A^2 \left( \frac{\ell^2}{2} - \frac{1}{2A^2} \right)} = \frac{EJ_x \pi^2}{1,19 \ell^3}, \quad (21)$$

где  $J_x = \frac{hb^3}{12}$ ;  $h$  и  $b$  – соответственно ширина и толщина каркасной стойки.

После подстановки в формулу (21) выражения  $q_z$  из (4), получаем

$$\frac{0,5}{\ell} \left[ G_r - f \left( N_n + \frac{a}{g} (G_r + G_c) \right) \right] = \frac{EJ_x \pi^2}{1,19 \ell^3} \Rightarrow, \quad (22)$$

$$G_r - f \left( N_n + \frac{a}{g} (G_r + G_c) \right) = \frac{EJ_x \pi^2}{0,59 \ell^2} = \frac{1,38 Ehb^3}{\ell^2}. \quad (23)$$

Окончательно выражение для расчета

толщины каркасной стойки бронежилета имеет вид

$$b = \sqrt[3]{\left[ G_r - f \left( N_n + \frac{a}{g} (G_r + G_c) \right) \right] \frac{\ell^2}{1,38 E h}}. \quad (24)$$

С помощью (24), задав в качестве исходных данных ширину и толщину каркасной стойки, можно определить модуль упругости материала для ее изготовления.

Предложенный расчет каркасной стойки позволяет на этапе предпроектной проработки бронежилета определить оптимальные размеры, способные воспринимать основную статическую нагрузку от веса изделия для разгрузки области плеч.

## ВЫВОДЫ

С применением метода теоретического расчета на устойчивость элементов конструкции упругих стоек получено аналитическое выражение для расчета толщины каркасной стойки.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 09.03.04.