

УДК 687.394:796.325

DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_77

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ БАНДАЖНОГО НАКОЛЕННИКА
СПОРТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ПО ДОПУСКАЕМОМУ ДАВЛЕНИЮ НА ТЕЛО ЧЕЛОВЕКА**

**DETERMINATION OF THE SIZES OF THE BANDAGE KNEELBOARD
OF THE SPORTS PURPOSE
BY THE ALLOWED PRESSURE ON THE BODY OF THE HUMAN**

Н.Б. МАКСУДОВ, Ф.У. НИГМАТОВА, И.Г. ШИН, А.Б. КАСИМОВА

N.B. MAKSUDOV, F.U. NIGMATOVA, I.G. SHIN, A.B. KASIMOVA

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: maqsudovnabijon@mail.ru; nigmatova60@mail.ru; Dimashin@mail.ru; azizakasimova@mail.ru

В статье изложены материалы по расчету размеров бандажного наколенника спортивного назначения из эластичного трикотажного полотна с учетом допускаемого давления на тело человека. На основе безмоментной теории тонкой оболочки и диаграммы растяжения текстильного материала определены обхватные размеры компрессионного наколенника.

The article presents materials on calculating the size of a sports bandage knee pad from an elastic knitted fabric, taking into account the allowable pressure on the human body. Based on the moment less theory of a thin shell and a tensile diagram of textile material, the girth sizes of a compression knee pad were calculated.

Ключевые слова: наколенник, давление, напряжение, оболочка, сила окружная, диаграмма растяжения, относительная деформация.

Keywords: compression product, knee pad, pressure, stress, shell, surrounded force, circumference, tension diagram, relative deformation.

В настоящее время компрессионные изделия широко используются в медицинских целях, так как спектр их воздействия многофункционален: улучшение кровотока за счет сжатия мускулов тела; пониженная утомляемость и быстрое восстановление

мышц вследствие уменьшения их колебаний; фиксирование и поддержка основных тканей тела человека. Перечисленные выше физиологические факторы обеспечивают повышенную работоспособность при одно-временной минимизации риска травмиро-

вания, что чрезвычайно важно в спортивной деятельности. Об этом свидетельствует детальный анализ эффективности применения компрессионной одежды в различных видах спорта, проведенный авторами работы [1]. Необходимо отметить, что компрессионная одежда оказывает комплексное влияние на физическое, физиологическое и психологическое состояние человека, что предопределяет актуальность ее использования в различных сферах жизнедеятельности.

Важным дополнением к спортивным изделиям являются различные предметы экипировки, среди которых наиболее популярны бандажные компрессионные изделия на участках коленей, голеней и локтей. Эти изделия (наколенники, налокотники), наряду с присущими компрессионной одежде физиологическими преимуществами, имеют эффективную защиту мышечного-связочного аппарата, фиксируя суставы конечностей тела человека в физиологическом положении. Основными видами травм, встречающихся в спорте, являются ушибы, повреждения связок суставов, растяжения и разрывы мышц, повреждения голеностопного и коленного суставов, пальцев кисти [2]. Спортивные наколенники, представляющие собой разнообразные по форме эластичные трубки, являются очень востребованными среди волейболистов и гандболистов. Все бандажные изделия должны обладать общими свойствами: повышенной растяжимостью и увеличенной силой сдавливания тела (компрессия). К сожалению, современные информационные ресурсы о бандажных компрессионных изделиях ограничиваются в основном сведениями рекламного характера. В научной же литературе информации о проектировании наколенников недостаточно. Поэтому вопросы рационального проектирования бандажных наколенников и конфекционирования пакета материалов имеют важное научно-практическое значение.

Давление, действующее на тело при эксплуатации компрессионных изделий, возникает под влиянием отрицательных конструктивных прибавок и важно учесть, что величина этой прибавки эквивалентна рас-

тяжению материала. В ряде работ [3...5] предпринята попытка прогнозирования давления на цилиндрическом теле путем создания определенного давления на внешнее тканевое покрытие. При этом компрессионное изделие рассматривается как текстильная оболочка [6], и возникающее давление является результатом сложной взаимосвязи между следующими разнородными факторами: конструкция и посадка одежды; структура, волокнистый состав и физико-механические свойства материалов; размер и форма части тела, несущая одежду; вид спортивной деятельности и характер движений. Несмотря на множество значимых факторов, влияющих на уровень давления, применение безмоментной теории тонкой оболочки и формулы Лапласа [1], [6] в модифицированном виде дают удовлетворительные результаты по прогнозированию давления, воспринимаемого цилиндрическим телом определенного радиуса через напряжение внешнего тканевого покрытия.

Для создания наиболее близкого к реальному условию нагружения необходимо учесть толщину материала [7], охватывающего тело цилиндрической или конической формы и тем самым создающего рассчитываемую оболочку.

С целью определения размеров компрессионного (бандажного) наколенника используем уравнение Лапласа, выраженное через меридиональное σ_m и окружное σ_t напряжения, действующие в осесимметричной оболочке толщиной h [8]:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{h}, \quad (1)$$

где ρ_m, ρ_t – соответственно радиусы кривизны меридиана срединной поверхности оболочки и нормального сечения, перпендикулярного к дуге меридиана, m ; p – сила нормального давления (Па), приложенная к элементу оболочки.

Формула (1) получена на основе безмоментной теории оболочки, когда напряжения, возникающие в оболочке постоянны по толщине из-за ее малости, поэтому изгиб оболочки отсутствует. Для оболочки в виде

тела вращения (цилиндр или конус) радиус кривизны $\rho_m = \infty$, поэтому

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} = 0, \quad \rho_t = r = \frac{C}{2\pi}, \quad (2)$$

где C – длина окружности оболочки в данном поперечном сечении радиусом r .

Если рассматривать толщину оболочки h как толщину текстильного материала, например, трикотажного полотна δ , и в качестве нормального давления p принять максимально допускаемое давление p , создаваемое бандажным наколенником, то формулу (1) можно привести к виду:

$$\sigma_t = \frac{[p]}{\delta} \rho_t, \quad \text{или} \quad \sigma_t = \frac{[p]}{\delta} \frac{C}{2\pi}, \quad \text{Па.} \quad (3)$$

При расчете нормальных напряжений в окружном направлении вводим ряд допущений:

1) поперечное сечение конечности тела принимается в форме круга с длиной окружности C ;

2) не учитывается продольное растяжение тканей в предмете одежды;

3) относительное удлинение образца эквивалентно отрицательной конструктивной прибавке;

4) площадь поперечного сечения элемента нагружения представляется сплошной.

Для расчета напряжений по формуле (3) в качестве допускаемого давления $[p]$ можно принять значения, полученные авторами работы [5] (табл. 1 – рекомендуемые значения допускаемого давления).

Таблица 1

№п/п	Место измерения	Давление, кПа
1	Лодыжка	2,399...3,999
2	Голень	2,346...3,333
3	Колено	1,493...2,666
4	Нижняя часть бедра	1,213...2,399

Если сравнить значения давлений (табл.1) с давлениями, положенными в основу классификации изделий по сдавливающей силе [6], имеющих специальные эластомерные нити в структуре, то эти изделия следует отнести к профилактическим ($p=1,33...3,32$ кПа) и компенсационным ($p=3,32...6,65$ кПа). К ним относятся изделия, имеющие спортивное, спортивно-медицинское и медицинское назначения.

Ведущую роль среди современных предметов экипировки играют бандажные изделия на участках коленей и голеней. На рис. 1 даны размерные характеристики для проектирования бандажного наколенника.

Конструкция наколенника не ограничивается только длиной окружности колена (рис. 1, С). Необходимо учитывать также размер нижней части бедра (длина окруж-

ности выше колена) (рис. 1, А) и длину окружности голени (рис. 1, В). В зависимости от размера изделия эти данные показаны в табл. 2 (размерные признаки бандажного наколенника).

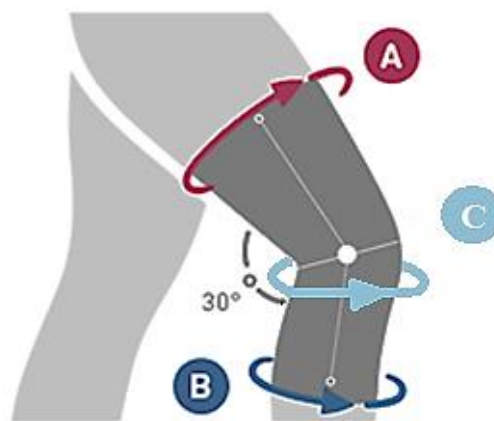


Рис. 1

Таблица 2

№ п/п	Размер изделия, см	Номер образца				
		1	2	3	4	5
1	Длина окружности выше колена (А)	38-41	41-44	44-47	47-50	50-53
2	Длина окружности колена (С)	27-30	30-33	33-36	36-39	39-42
3	Длина окружности голени (В)	28-31	31-34	34-37	37-40	40-43

При проектировании бандажного наколенника примем допускаемое давление $[p]$ для размерных участков вблизи коленного сустава в соответствии с данными табл. 1. Создаваемая ступенчатая компрессия должна быть обеспечена конструкцией бандажного наколенника. Пониженное давление на участке "колено" объясняется тем, что давление будет возрастать в момент сгибания коленного сустава при движениях ноги с большой амплитудой. Поэтому материалы для спортивной одежды и предметов экипировки изготавливают из эластичного текстиля, обладающего комплексом необходимых свойств: упругость и эластичность, формоустойчивость, износостойкость.

Для производства наколенников следует использовать волокнистый состав текстильных материалов с минимальным содержанием хлопка в изделии. При высоких гигиенических и гигроскопических свойствах хлопок имеет низкую износостойкость и формоустойчивость, которые сильно проявляются уже на начальной стадии эксплуатации изделия, особенно после

стирки и влажно-тепловой обработки. Поэтому основную долю в волокнистом составе материалов при современном производстве бандажных наколенников составляют такие синтетические волокна, как спандекс, нейлон, лайкра, неопрен.

Спандекс (синтетический полиуретан) способен деформироваться до 500 % при растяжении [9] и свободно восстанавливаться до первоначальной формы. В сочетании с синтетическим нейлоном и полиэфиrom спандекс придает текстильному изделию такие важные свойства, как несминаемость, износостойкость, комфорт, а также воздухопроницаемость в сочетании с натуральными волокнами (хлопок, лен, шелк, шерсть). Таким образом, свойства проектируемого изделия в значительной мере зависят от сочетания видов сырья и выбора структуры текстильного материала (трикотажное полотно, ткань). В табл. 3 показаны некоторые технические характеристики компрессионного трикотажного полотна зарубежных аналогов [10] и предлагаемый экспериментальный образец.

Таблица 3

№ п/п	Образец полотна	Название бренда	Страна - производитель	Волокнистый состав	Линейная плотность пряжи, Т, текс	Переплетение	Толщина, мм	Поверх. плотность, г/м ²
1	Образец 1	Mediven® Elegance	Medi (Германия)	Нейлон 75% Спандекс 25%	20 8	Гладь	0,48	102
2	Образец 2	Mediven® Plus	Medi (Германия)	Нейлон 72% Спандекс 28%	24 18	Гладь	0,49	206
3	Образец 3	Eurostar	Varodem® (Бельгия)	Нейлон 67% Спандекс 33%	24 15,3	Гладь	0,53	240
4	Образец 4	Euroform	Varodem® (Бельгия)	Нейлон 63% Спандекс 37%	34 27	Гладь	0,61	313
5	Экспериментальный образец			Нейлон 70% Латекс 30%	69,9 62	Гладь	1,33	461,6

Выполним расчет окружного напряжения σ_t по данным табл. 2 (для наколенника № 5) и табл. 3 для экспериментального образца по формуле (3) для разных участков

коленного сустава: (в расчетах приняты средние значения давления из заданных диапазонов):

голень:
$$\sigma_t = \frac{[p]}{\delta} \frac{C}{2\pi} = \frac{2,84 \cdot 10^3 \cdot 37 \cdot 10^{-2}}{1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 3,14} = 128712 \text{ Па,}$$

колено:
$$\sigma_t = 91697 \text{ Па,}$$

нижняя часть бедра:
$$\sigma_t = 103972 \text{ Па.}$$

По полученным значениям нормальных напряжений σ_t определим окружную силу F_t , возникающую при растяжении бандаж-

голень: $F_t = \sigma_t \delta \ell = 128712 \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 10^{-2} = 51,36 \text{ Н}$,
 колено: $F_t = 36,59 \text{ Н}$,
 нижняя часть бедра: $F_t = 41,48 \text{ Н}$.

Используя диаграмму растяжения (рис. 2 – диаграмма растяжения высокоэластичного трикотажа с волокнистым составом нейлон 70 % + латекс 30 % (по ширине образца)) компрессионного трикотажа (экспериментальный образец с волокнистым составом: нейлон 70% + латекс 30%), можно рассчитать относительную деформацию ε (%) при одноосном растяжении материала. Так, для голени и нижней части бедра относительная деформация ε находится в пределах 100% (по ширине образца), для колена $\varepsilon = 90 \%$. По величине относительной деформации ε легко определить расчетные значения длины окружностей L_p бандажного наколенника в исходном (ненагруженном) состоянии:

$$L_p = \frac{L}{1+\varepsilon}; \quad \varepsilon = \frac{L-L_p}{L_p}, \quad (4)$$

где L_p – расчетное значение длины окружности (обхвата) данного участка конечности тела; L – величина размерного признака (табл. 2).

Расчетные значения L_p соответственно для рассматриваемых участков коленного сустава составили: голень (20...21,5 см),

ного наколенника длиной $\ell = 30 \text{ см}$ и толщиной полотна $\delta = 1,33 \text{ мм}$:

колено (19,5...21 см) и нижняя часть бедра (25...26,5 см).

На рис. 3 показан расчетный контур компрессионного наколенника из трикотажного полотна (нейлон 70 % + латекс 30 %) для размера изделия № 5, составленный из различных значений диаметров d , соответствующих длинам окружностей по каждому рассматриваемому участку тела. По приведенному алгоритму можно рассчитать параметры для остальных размеров бандажного наколенника.

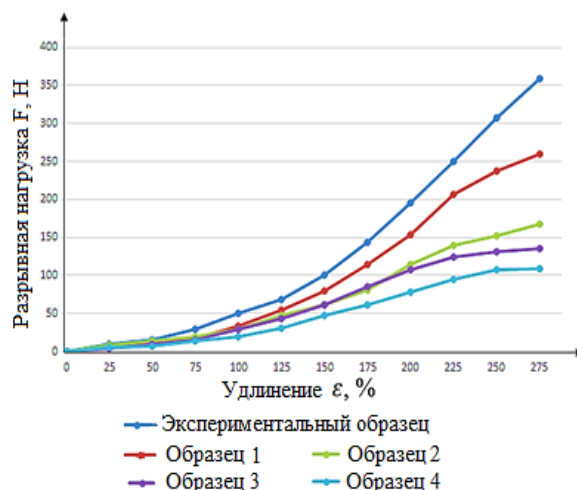


Рис. 2

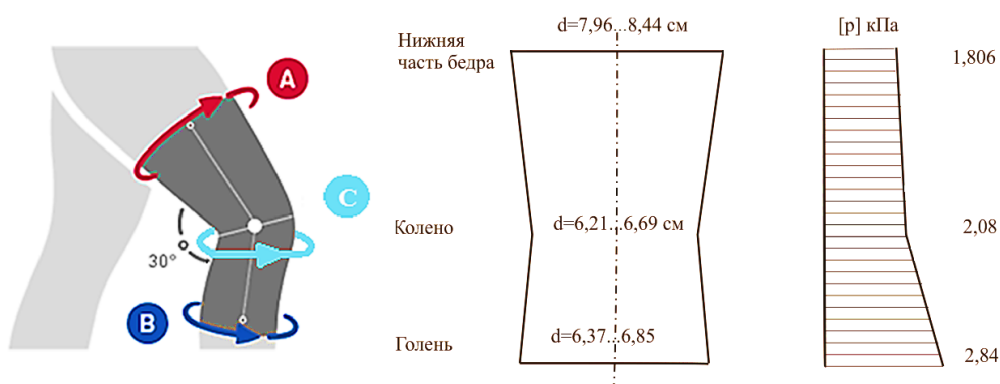


Рис. 3

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм расчета обхватных размеров бандажного наколенника по предельно допускаемому давлению и диаграмме осевого растяжения текстильного материала. Оценка напряженного состояния, создаваемого наколенником, осуществлена с помощью безмоментной теории тонкой оболочки с применением формулы Лапласа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. О влиянии компрессионных изделий спортивного назначения на состояние человека // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 131...140.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ottobock.ru/media_local-media/for-specialists/orthotics/leaflet_a4_power_sports. (Дата обращения: 24.05.2019 г.)
3. William J., Kraemer A., Bush A. Jill, Jeffrey A., Bauer N. Influence of Compression Garmets on Vertical Jump Performance in NCAA Division Volleyball Players // Journal of Strength and Conditioning Research. – Vol. 10, Is. 3, 1996. P. 180...183.
4. Lijing Wang, Martin Felder, Jackie Cai. Study of Properties of Medical Compression Fabrics // Journal of Fiber Bioengineering & Informatics. – Vol. 4, Is. 1, 2011. P. 15...22.
5. Troynikov O., Ashayeri E., Burton M., Subic A., Alam F., Marteau S. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports // Procedia Engineering – Vol. 2, Is., 2010. P. 2823...2829.
6. Филатов В.Н. Упругие текстильные оболочки. – М.: Легпромбытиздат, 1987.
7. Алимova X.A., Шин И.Г., Набижанова Н.Н., Нигматова Ф.У. Проектирование хлопко-шелковых трикотажных изделий на основе безмоментной теории оболочки // Проблемы текстиля. – 2007, № 4. С.46...48.
8. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. – М.: Наука, 1986.
9. Krapp K. How products are made: An Illustrated Guide to Product Manufacturing. Gale. – Vol. 4, 1999. P. 488...493.

10. Manshahia M, Das A. High active sportswear- A critical review J. Res // Text Apparel. –Vol. 17, Is. 3, 2013. P. 38...45.

REFERENCES

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S. O vliyaniy kompressionnykh izdeliy sportivnogo naznacheniya na sostoyaniye cheloveka // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 6. S. 131...140.
2. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.ottobock.ru/media_local-media/for-specialists/orthotics/leaflet_a4_power_sports. (Data obrashcheniya: 24.05.2019 g.)
3. William J., Kraemer A., Bush A. Jill, Jeffrey A., Bauer N. Influence of Compression Garmets on Vertical Jump Performance in NCAA Division Volleyball Players // Journal of Strength and Conditioning Research. – Vol. 10, Is. 3, 1996. P. 180...183.
4. Lijing Wang, Martin Felder, Jackie Cai. Study of Properties of Medical Compression Fabrics // Journal of Fiber Bioengineering & Informatics. – Vol. 4, Is. 1, 2011. P. 15...22.
5. Troynikov O., Ashayeri E., Burton M., Subic A., Alam F., Marteau S. Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports // Procedia Engineering – Vol. 2, Is., 2010. P. 2823...2829.
6. Filatov V.N. Uprugie tekstil'nye obolochki. – М.: Legprombytizdat, 1987.
7. Alimova Kh.A., Shin I.G., Nabizhanova N.N., Nigmatova F.U. Proektirovaniye khlopko-shelkovykh trikotazhnykh izdeliy na osnove bezmomentnoy teorii obolochki // Problemy tekstilya. – 2007, № 4. С.46...48.
8. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov. – М.: Nauka, 1986.
9. Krapp K. How products are made: An Illustrated Guide to Product Manufacturing. Gale. – Vol. 4, 1999. P. 488...493.
10. Manshahia M, Das A. High active sportswear- A critical review J. Res // Text Apparel. –Vol. 17, Is. 3, 2013. P. 38...45.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии изделий легкой промышленности. Поступила 04.02.20.