

Научная статья

УДК 687.17.03

EDN K LWUBQ

doi 10.34216/2587-6147-2024-1-63-12-19

Антон Вячеславович Абрамов<sup>1</sup>

Михаил Юрьевич Саркисов<sup>2</sup>

Маргарита Всеволодовна Родичева<sup>3</sup>

Елена Борисовна Демократова<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

<sup>3</sup> Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия

<sup>1</sup> Ant-lin88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7082-1344>

<sup>2</sup> haizechellingtone@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5602-9027>

<sup>3</sup> rodicheva.unpk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1092-6141>

<sup>4</sup> demokratova-eb@rguk.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0172-5846>

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРИМЕРЕ МУЖСКОЙ ФУТБОЛКИ

**Аннотация.** Показана возможность использования современных методов виртуальной примерки одежды на аватар тела человека в процессе формирования качества швейных изделий. Приведена общая схема расчета механических процессов, которые развиваются в швейных изделиях при облегаемости тела человека в статике и динамике, основные направления автоматизации процесса вычислений. На основе выбранного численного метода решена задача подбора текстильных материалов для обеспечения требуемого качества изделия на примере мужской футболки. Определены механические свойства нескольких образцов трикотажных полотен для таких изделий. На основе полученных значений проведен расчет полей напряжения в деталях мужской футболки в различных позах аватара тела. Проведена экспериментальная проверка результатов моделирования. Установлены закономерности между механическими свойствами трикотажного полотна и характером напряжений в структуре изделия. Показана возможность их использования при выборе текстильных материалов с позиции обеспечения требуемого качества изделий на этапе проектирования.

**Ключевые слова:** качество одежды, мужская футболка, виртуальная примерка, механические напряжения, жесткость, драпируемость, несминаемость

**Для цитирования:** Новые подходы к обоснованию выбора материалов для швейных изделий на примере мужской футболки / А. В. Абрамов, М. Ю. Саркисов, М. В. Родичева, Е. Б. Демократова // Технологии и качество. 2024. № 1(63). С. 12–19. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-12-19>.

Original article

Anton V. Abramov<sup>1</sup>

Mikhail Yu. Sarkisov<sup>2</sup>

Margarita V. Rodicheva<sup>3</sup>

Elena B. Demokratova<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

<sup>3</sup> Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

## NEW APPROACHES TO JUSTIFICATION OF MATERIALS FOR GARMENTS USING THE EXAMPLE OF A MEN'S T-SHIRT

**Abstract.** The possibility of using modern methods of virtual fitting of clothes on an avatar of the human body in the process of forming the quality of garments is shown. A general scheme for calculating the mechanical processes developed in garments when fitting the human body in statics and dynamics is presented, as well as the main directions for automating the calculation process. Based on the chosen numerical method, the problem of selecting textile materials to ensure the required quality of the product was solved using

© Абрамов А. В., Саркисов М. Ю., Родичева М. В., Демократова Е. Б., 2024

*the example of a men's T-shirt. The mechanical properties of several samples of knitted fabrics for such products were determined. Based on the obtained values, the calculation of stress fields in the parts of a men's T-shirt in various body avatar poses was carried out. An experimental verification of the modelling results was carried out. Regularities have been established between the mechanical properties of knitted fabric and the nature of stress in the structure of the product. The possibility of their use when choosing textile materials is shown from the point of view of ensuring the required quality of products at the design stage.*

**Keywords:** quality of clothing, men's sweatshirt, virtual fitting, mechanical stress, rigidity, drapability, wrinkle resistance

**For citation:** Abramov A. V., Sarkisov M. Yu., Rodicheva M. V., Demokratova E. B. New approaches to justification of materials for garments using the example of a men's t-shirt. *Technologies & Quality*. 2024. No 1(63). P. 12–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-1-63-12-19>.

Качество одежды характеризуется широким рядом показателей. В их числе – эстетические и эргономические, которые в совокупности выражают композиционную целостность изделия, ее функциональную целесообразность и удобство использования [1]. Недостаточное внимание к этим свойствам в процессе проектирования одежды вызывает существенное снижение качества швейных изделий [2].

Задача одновременного формирования эстетических и эргономических показателей качества изделия является сложной и требует непрерывного контроля. В частности, на этапе проектирования необходимо определить рациональную конфигурацию линий членения деталей с учетом силуэта, антропометрических признаков тела, свойств текстильных материалов [3]. Для ее решения используют методы компьютерного моделирования (виртуальную примерку). При этом чертеж изделия преобразуется в оболочки, контуры которых соответствуют конфигурации деталей изделия. В них выделяют набор реперных точек (поз. 1 рис. 1), соеди-

ненных между собой жесткими пружинами (поз. 2).

Оболочки располагают вокруг аватара и проводят симуляцию процесса шивания, при котором пространственная форма одежды генерируется программным обеспечением с учетом силы тяжести, силы реакции поверхности тела человека и механических свойств материалов. Изменение координат реперных точек вычисляется по условию равновесия растягивающих, изгибающих и закручивающих усилий в пружинах [4]:

$$\Delta y_m = -\frac{F(x + \Delta x_m, y) - F(x, y)}{\partial F, \partial y}, \quad (1)$$

где  $\Delta x_m, y$  – изменение положения реперной точки, мм;

$F(x, y)$  – сила, действовавшая на реперную точку в предыдущей итерации решения, Н;

$F(x + \Delta x_m, y)$  – сила, действующая на реперную точку при изменении ее положения в рамках текущей итерации решения, Н;

$\partial y$  – смещение реперной точки, мм.

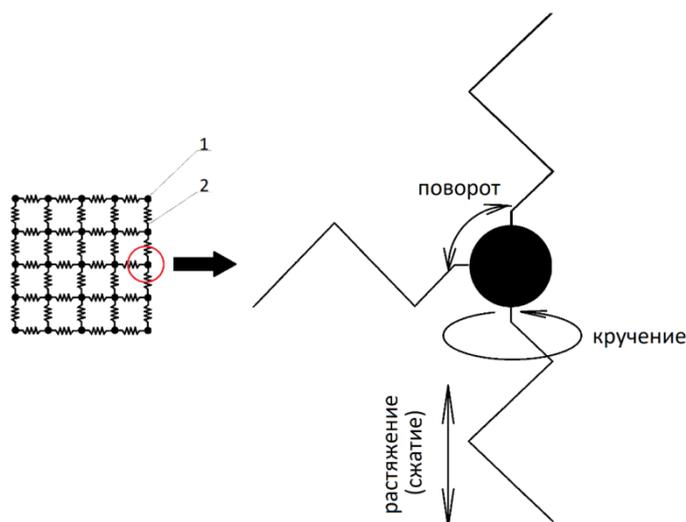


Рис. 1. Пружинная модель текстильного материала

Влияние механических свойств текстильного материала задается коэффициентом чувствительности  $S_m$ :

$$S_m = \frac{\partial y}{\partial \Theta_m}, \quad (2)$$

где  $\Theta_m$  – угол смещения реперной точки.

Расчеты новых координат проводят по уравнению, которое связывает текущее положение точки с предыдущим:

$$y_{i+1} - y_i = \sum_{m=1}^{3N} S_m^j \Delta \Theta_m. \quad (3)$$

После расчета координат всех реперных точек оболочка приобретает форму, аналогичную наблюдаемой у реального изделия. Для удержания этой формы в материале возникают механические напряжения, которые характеризуют внешний вид изделия и его удобство в процессе эксплуатации. Величина этого напряжения рассчитывается по закону Гука, исходя из новых положений реперных точек. Более подробно математический аппарат изложен в литературе [5].

Обобщая рассмотренный и аналогичные методы, отметим, что энергетический и силовой подходы к расчету механических процессов текстильных материалов при всей своей простоте позволяют решать широкий спектр прикладных задач. Причем расчетные алгоритмы

являются достаточно универсальными. Например, известны модели, в которых энергетические соотношения позволяют воспроизводить процессы релаксации и старения нетканых материалов с подробным учетом строения этих полотен [6].

Метод достаточно точно моделирует поведение изделия и позволяет своевременно вносить изменения в конфигурацию линий членения. Он реализован в многочисленных программных продуктах и активно используется при проектировании одежды, например для решения задачи подбора материалов при изготовления различных швейных изделий [7].

Традиционно эта модель использовалась для расчета одежды из тканей, в то время как в трикотажных полотнах деформация происходит за счет конформации петель. В работах зарубежных исследователей установлено, что точки контакта петель в трикотажных материалах любого переплетения расположены равномерно [8, 9]. Это позволяет использовать пружинную модель при проведении расчета деформации и механического напряжения в трикотажных материалах. К. Цанг доказана возможность использования метода и при проведении расчетов на трикотажных полотнах [10].

Рассмотрим проведение такого расчета на примере футболки прямого силуэта (рис. 2, а) для мужчины ростом 178 см, обхватом груди 108 см, обхватом талии 78 см. Чертеж деталей конструкции приведен на рис. 2, б.

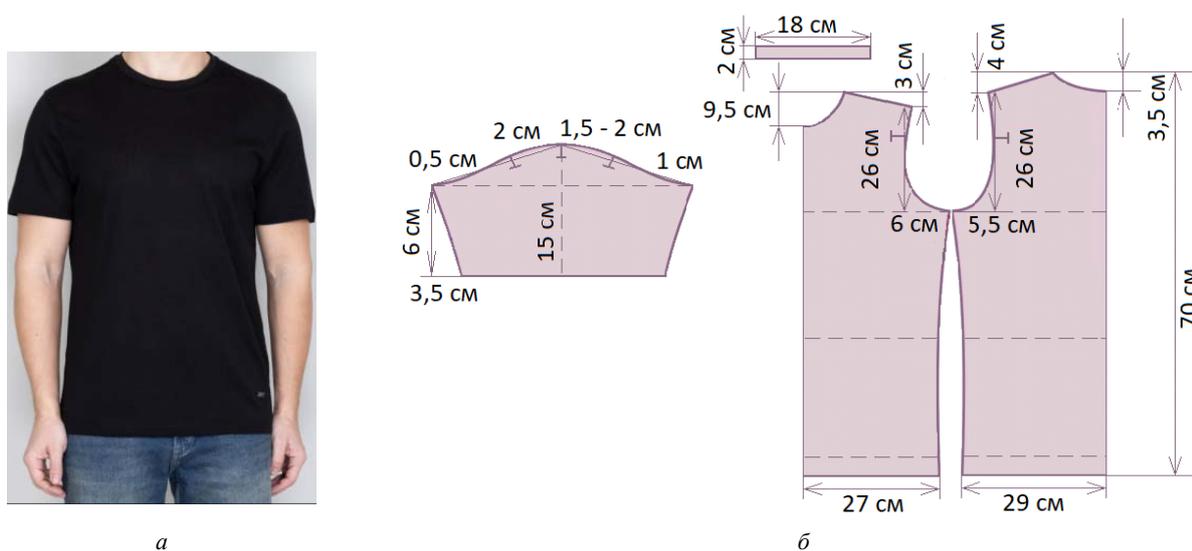


Рис. 2. Внешний вид изделия (а) и его детали (б)

Качество изделия формируется при соответствии его формы исходному художественному образу, а также при обеспечении удобства движения человека. Таким образом, критериями качества изделия являются:

- симметричный вид изделия при минимальном количестве складок;
- минимальные механические усилия в материале при их равномерном распределении.

Для изготовления изделия выбрано три образца трикотажных полотен (табл.), аналогичных рекомендуемым М. А. Сташевой с соавторами для изготовления изделий первого слоя [11]. Показатели их механических свойств определены по стандартным методикам.

У образца 1 механические свойства более выражены в направлении петельных рядов, у образцов 2 и 3 – в направлении петельных столбиков. При этом материал №1 является самым жестким из них и характеризуется самой высокой разрывной нагрузкой. Наиболее высокая несминаемость зафиксирована у образца №3.

Для проверки результатов моделирования получены экспериментальные зависимости между деформацией элементарных образцов выбранных материалов при нагрузках, меньше разрывных, и возникающими в них механическими напряжениями по стандартному методу (рис. 3) [12].

Полученные величины механических напряжений находятся в пределах от 0 кПа в ненагруженном состоянии до 650 кПа в максимально нагруженном. Условия определения растяжимости по ГОСТ 8847: нагрузка 6 Н на полоску шириной 50 мм, сшитую в кольцо.

Т а б л и ц а

Характеристика трикотажных материалов для мужской фуфайки

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Толщина, мм	0,45	0,73	0,48
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	168	228	164
Жесткость по рядам, мкН·см <sup>2</sup>	5275	3696	836
Жесткость по столбикам, мкН·см <sup>2</sup>	6260	929	530
Драпируемость, %	37,4	50,5	59,5
Несминаемость по рядам, %	97,7	46,6	94,6
Несминаемость по столбикам, %	66,3	88,6	15
Разрывная нагрузка по рядам, Н	548	298	111
Разрывная нагрузка по столбикам, Н	138	281	108

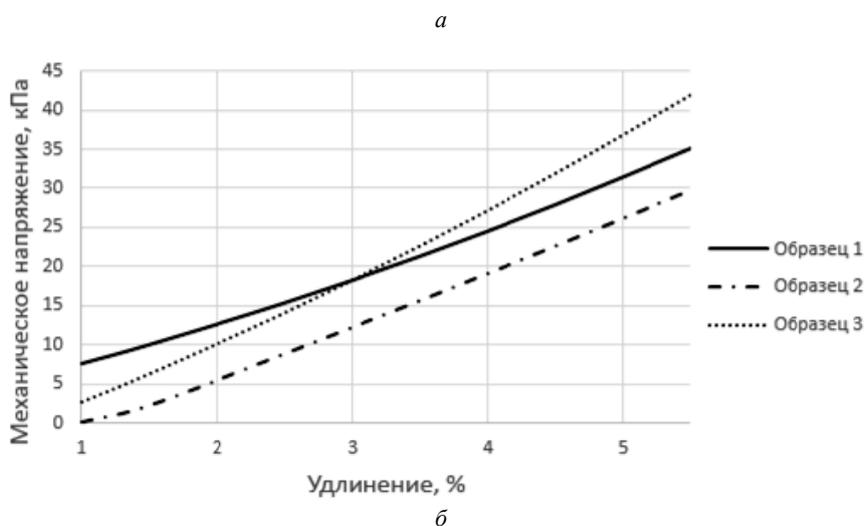
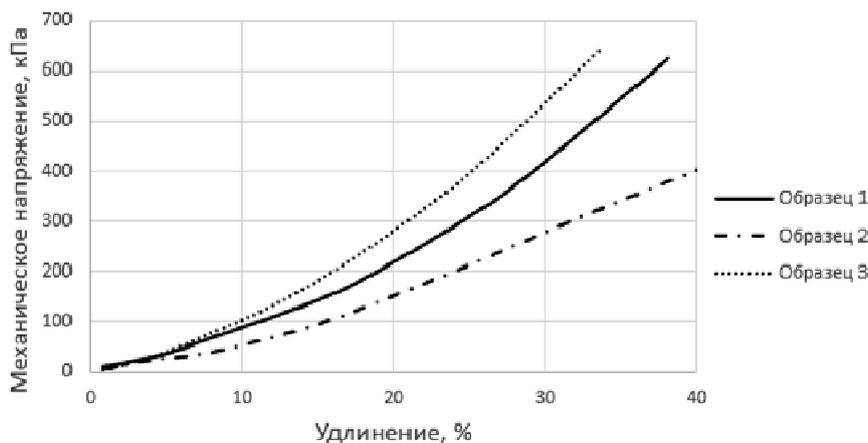


Рис. 3. Зависимость механических напряжений от деформации: а – в диапазоне 0...40 %; б – более подробно в диапазоне удлинений 0...5 %

Компьютерное моделирование полей деформации и возникающих в материале изделия механических напряжений проведено для трех поз, которые отражают динамику тела при определенных движениях (рис. 4):

а) свободная: руки расслаблены и ориентированы вдоль туловища;

б) стоя при низком напряжении: руки незначительно отведены от тела (угол наклона плеча относительно вертикали не превышает  $15^\circ$ );

в) стоя при выраженном напряжении: руки отведены от тела так, что угол наклона плеча относительно вертикали составляет  $40^\circ$ ).



**Рис. 4. Характерные позы аватара для оценки качества посадки изделия:**  
а – аватар в свободной позе; б – аватар в позе стоя при низком напряжении;  
в – аватар в позе стоя при выраженном напряжении

В каждой из этих поз при различных вариантах трикотажного материала получены поля механического напряжения и удлинения. Для проведения количественного анализа определены значения этих параметров в десяти контрольных точках (рис. 5):

- № 1, 2: рядом с плечевым швом;
- № 3, 4, 8, 9: на уровне груди и лопаток;
- № 5, 10: над мечевидным отростком грудины спереди и симметрично сзади;
- № 6, 7, 11, 12: по низу изделия спереди и сзади.

Для каждой точки определены координаты, что позволяет сравнивать полученные значения механических напряжений в различных симуляциях.

Результаты моделирования при использовании показателей механических свойств преднастроенного материала представлены на рис. 6. Его деформация в изделии составляет 3...4% в области подмышечных впадин и 2...2,5% на опорных поверхностях. Величины механических напряжений: 0,2...6,0 кПа, что существенно ниже экспериментальных значений. В статичной позе максимальные напряжения наблю-

даются по опорной поверхности изделия (точки 1 и 2). Напряжения в области груди и лопаток (точки 3, 4, 8, 9) схожи, а по низу изделия незначительны.

При поднятии рук аватара вес изделия частично перераспределяется в область рукава. В результате величина механического напряжения в точках 1 и 2 снижается. За счет дополнительного натяжения изделия в горизонтальном направлении механическое напряжение в остальных точках также снижается.

При задании механических свойств по результатам исследования образца №1 деформация изделия в области опорной поверхности составляет 5%. В точках 5–7 и 10–12 ее величина снижается до значения 0,5%. Величина механических напряжений в деталях изделия составляет 3...29 кПа (рис. 7), что соответствует экспериментальным данным (см. рис. 3) и свидетельствует о достоверности результатов моделирования.

Драпируемость образца №2 выше, что вызывает изменение характера механических напряжений в изделии: в точке 5 при поднятии рук аватара ее величина возрастает (рис. 8).

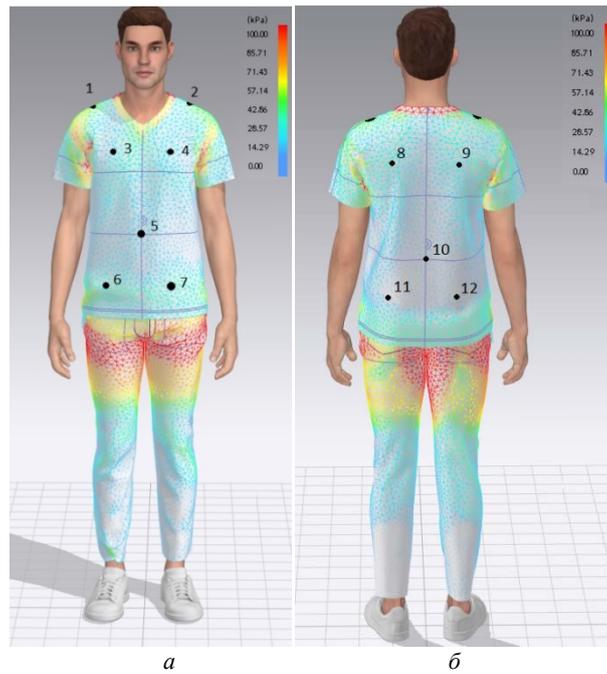


Рис. 5. Распределение поля напряжений в материале в структуре изделия:  
а – на передне изделия; б – на спинке изделия

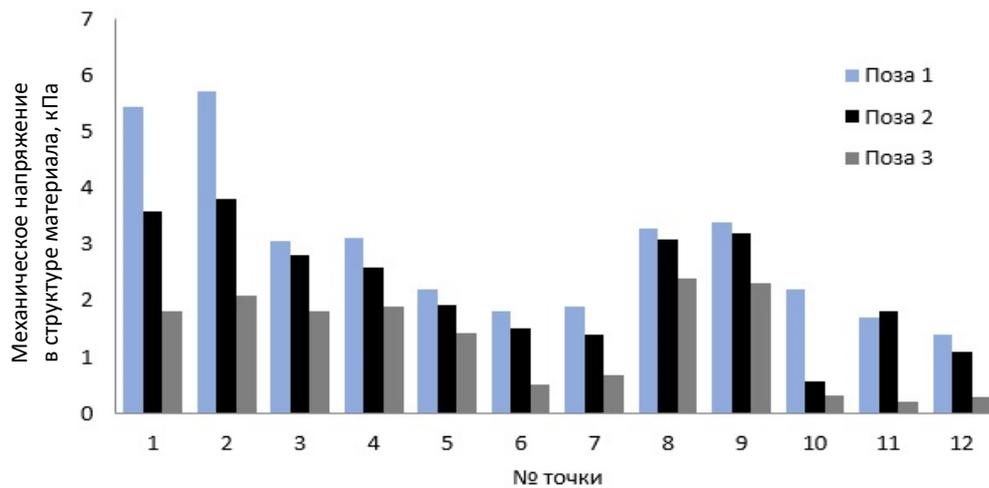


Рис. 6. Механические напряжения в изделии при использовании материала по умолчанию

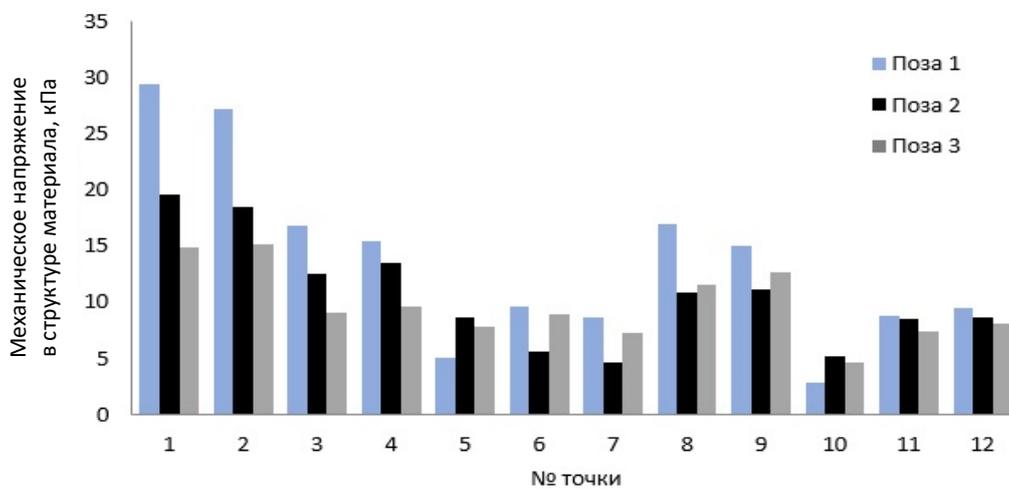


Рис. 7. Механические напряжения в изделии (свойства материала по образцу № 1)

При этом по низу изделия формируются складки, которые повышают механическое напряжение в точках 11 и 12. При этом величины деформации материала на опорной поверхности изделия составляют 3%, а в точках 5–7 и 10–12 не превышают 1,5%. По результатам расчетов величина механических напряжений составляет 2...11 кПа, что соответствует экспериментальным данным.

При задании механических свойств по результатам исследования образца №3 поле механических напряжений в изделии существенно изменяется (рис. 9).

Значения напряжения в точках 1, 2 схожи с наблюдаемыми для образца №1. В остальных точках эта величина существенно ниже, что связано с различиями в жесткости образцов. В общем, при деформации 0,5...4% механическое напряжение в материале составляет от 3,5 до 33 кПа. Подобная динамика свидетельствует о равномерном распределении усилий по материалу, что позволяет изделию лучше поддержи-

вать форму и обеспечивать комфорт при движении человека. Таким образом, именно это трикотажное полотно рекомендовано для изготовления футболки.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что представление текстильного материала в виде пружинной модели и последующий расчет деформаций позволяют воспроизводить его поведение в процессе численных экспериментов.

2. В результате расчетов изучены деформация и механические напряжения в структуре мужской футболки. Установлено, что показатели механических свойств полотна оказывают существенное влияние на эстетические и эргономические свойства изделия.

3. Изучены зоны максимального напряжения в различных позах аватара тела человека. По их динамике сформирована рекомендация по выбору предпочтительного образца трикотажного полотна.

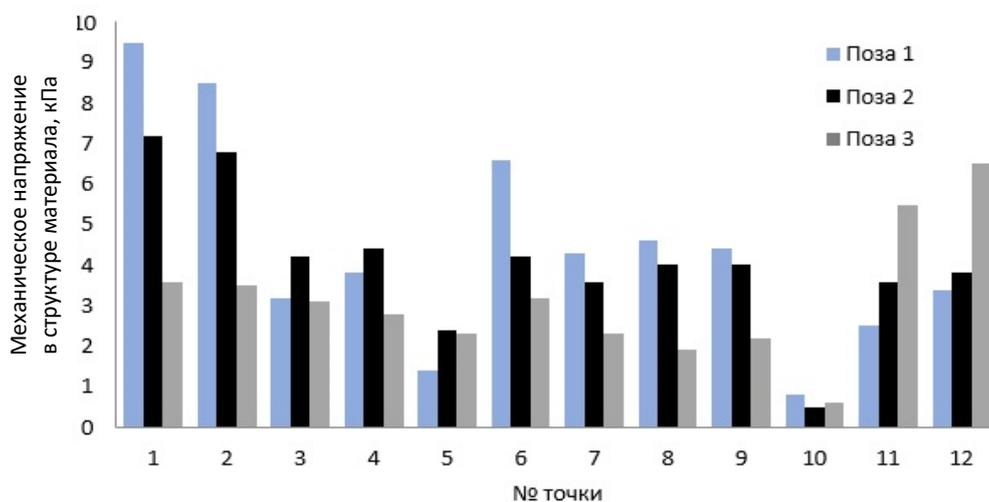


Рис. 8. Механические напряжения в изделии (свойства материала по образцу №2)

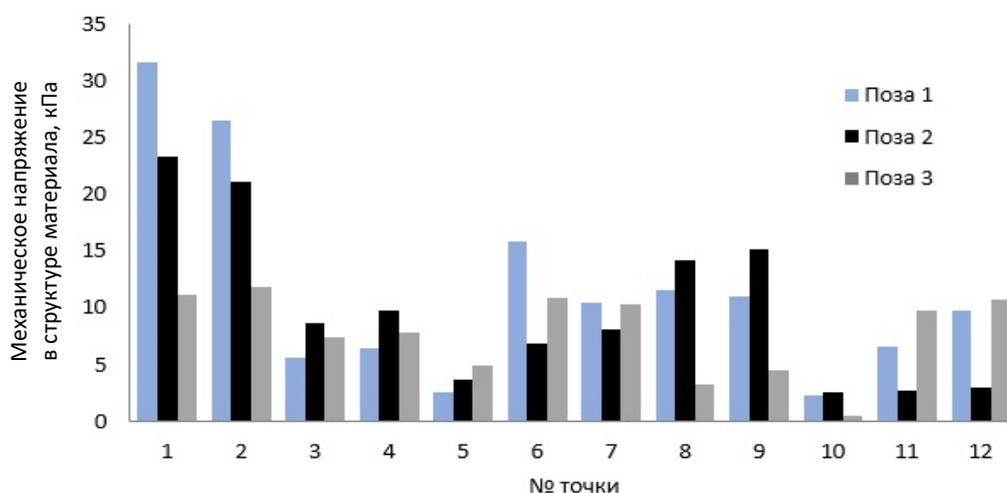


Рис. 9. Механические напряжения в изделии (свойства материала по образцу №3)

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 4.45–86. Система показателей качества продукции. Изделия швейные бытового назначения. Номенклатура показателей. М. : Изд-во стандартов, 2001. 7 с.
2. Стасева М. А., Дрягина Л. В., Гусев Б. Н. Анализ причин снижения качества швейных изделий // Технологии и качество. 2020. № 4(50). С. 7–10.
3. Пулатова С. У., Закиряева Н. Г. Формообразование в дизайне современного костюма // Universum: технические науки. 2022. № 5(98). URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/13666> (дата обращения: 02.11.2023).
4. Huang S., Huang L. CLO3D-Based 3D Virtual Fitting Technology of Down Jacket and Simulation Research on Dynamic Effect of Cloth // Wireless Communications and Mobile Computing. 2022. Vol. 2. P. 1–11.
5. Man X., Swan C. C. A Mathematical Modeling Framework for Analysis of Functional Clothing // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2007. Vol. 2(3). P. 10–27.
6. Энергетические аспекты релаксации и старения нетканых волокнистых материалов / П. А. Севостьянов, Т. А. Самойлова, В. И. Монахов, А. А. Белевитин, И. М. Бурдин // Технологии и качество. 2022. № 4(58). С. 19–24.
7. Children’s Clothing Virtual Simulation Immersive Design and Show Based on Machine Learning / J. Dai, H. Dai, J. Wang, X. Wang // Mobile Information Systems. 2021. Vol. 4. P. 1–9.
8. Prediction of mechanical properties of knitted fabrics under tensile and shear loading: Mesoscale analysis using representative unit cells and its validation / T. D. Dinh, O. Weeger, S. Kaijima, S.-K. Yeung // Composites Part B. 2018. Vol. 148. P. 81–92.
9. Syerko E., Comas-Cardona S., Binetruy C. Models of mechanical properties/behavior of dry fibrous materials at various scales in bending and tension // Composites: Part A. 2012. Vol. 43. P. 1365–1388.
10. Zhang Q. Knitwear design based on CLO3D // Wool Textile Journal. 2023. Vol. 50. P. 77–83.
11. Испытания трикотажных полотен с целью подтверждения соответствия / М. А. Стасева, Т. Н. Новосад, Н. В. Евсева, Б. Н. Гусев // Технологии и качество. 2020. № 1(47). С. 22–25.
12. ГОСТ 8847–85. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньших разрывных. М. : Изд-во стандартов, 1986. 22 с.

## REFERENCES

1. *GOST 4.45–86. Sistema pokazatelej kachestva produkcii. Izdeliya shvejnye bytovogo naznacheniya. Nomenklatura pokazatelej* [State Standard 4.45–86. System of product quality indicators. Sewing products for household use. Nomenclature of indicators]. Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 2001. 7 p. (In Russ).
2. Stasheva M. A., Dryagina L. V., Gisev B. N. Analysis of the reasons for the decline in the quality of garments. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2020;4(50):7–10. (In Russ.)
3. Pulatova S. U., Zakiryaeva N. G. Shaping in the design of a modern suit. *Universum: tekhnicheskie nauki* [Universum: technical sciences]. 2022;5(98). URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/13666> (accessed 02/11/2023) (In Russ.)
4. Huang S., Huang L. CLO3D-Based 3D Virtual Fitting Technology of Down Jacket and Simulation Research on Dynamic Effect of Cloth. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2022;2:1–11.
5. Man X., Swan C. C. A Mathematical Modeling Framework for Analysis of Functional Clothing. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2007;2(3):10–27.
6. Sevostyanov P. A., Samoylova T. A., Monahova V. I., Belevitin A. A., Burdin I.M. Energy aspects of relaxation and aging of nonwoven fibrous materials. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2022;4(58):19–24. (In Russ.)
7. Dai J., Dai H., Wang J., Wang X. Children’s Clothing Virtual Simulation Immersive Design and Show Based on Machine Learning. *Mobile Information Systems*. 2021;4:1–9.
8. Dinh T. D., Weeger O., Kaijima S., Yeung S.-K. Prediction of mechanical properties of knitted fabrics under tensile and shear loading: Mesoscale analysis using representative unit cells and its. *Composites Part B*. 2018;148: 81–92.
9. Syerko E., Comas-Cardona S., Binetruy C. Models of mechanical properties/behavior of dry fibrous materials at various scales in bending and tension. *Composites: Part A*. 2012;43:1365–1388.
10. Zhang Q. Knitwear design based on CLO3D. *Wool Textile Journal*. 2023;50:77–83.
11. Stasheva M. A., Novosad T. N., Evseeva N. V., Gusev B. N. Testing of knitted fabrics to confirm compliance. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies & Quality]. 2020;1(47):22–25. (In Russ.)
12. *GOST 8847–85. Polotna trikotazhnye. Metody opredeleniya razryvnyh harakteristik i rastyazhimosti pri nagruzkah, men’shih razryvnyh* [State Standard 8847–85. Knitted fabrics. Methods for determining tensile characteristics and elongation at loads less than tensile strength]. Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 1986. 22 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 28.12.2023

Принята к публикации 6.03.2024