

УДК 687.03

DOI 10.47367/0021-3497_2024_6_208

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ ОДЕЖДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОХРОМНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**MODELING OF CLOTHING CONSTRUCTIVE EFFECTS
USING THERMOCHROMIC TEXTILE MATERIALS**

*И.Н. ТЮРИН¹, А.П. ЕЛКИНА¹, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ^{2,3}, М.В. КИСЕЛЕВА¹,
В.В. ГЕТМАНЦЕВА¹, Д.О. САВЧЕНКО¹*

*I.N. TYURIN¹, A.P. ELKINA¹, S.SH. TASHPULATOV^{2,3}, M.V. KISELEVA¹,
V.V. GETMANTSEVA¹, D.O. SAVCHENKO¹*

¹Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),

²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,

³Джизакский политехнический институт, Республика Узбекистан)

¹The Kosygin State University of Russia,

²Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,

³Jizzakh Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan)

E-mail: tyurin-in@rguk.ru; ssht61@mail.ru

Статья посвящена разработке способа проектирования плотнооблегающих изделий повседневного назначения из термохромных трикотажных полотен с имитацией конструктивных эффектов. Использование термохромных красителей позволяет осуществлять имитацию конструктивных элементов одежды, таких как вытачки, рельефы, декоративные элементы (карманы, пуговицы, застежки), при изменении температуры. Проанализированы разновидности, преимущества и недостатки термохромного текстильного материала, а также принцип его работы с электрической цепью. Проведен расчет нагревательного контура и анализ его теплофизических свойств, разработан дизайн-проект плечевого изделия и отшит образец, который прошел успешную апробацию при опытной носке.

The article is devoted to the development of a method for designing tight-fitting everyday garments made of thermochromic knitted fabrics with imitation of structural effects. The use of thermochromic dyes allows imitation of structural elements of clothing, such as darts, reliefs, decorative elements (pockets, buttons, fasteners), with temperature changes. The varieties, advantages and disadvantages of thermochromic textile material, as well as the principle of its operation with an electric

circuit are analyzed. The heating circuit was calculated and its thermophysical properties were analyzed, a design project for the shoulder product was developed, and a sample was sewn, which was successfully tested during experimental wear.

Ключевые слова: термохромный текстильный материал, ткань, электрическая цепь, температура.

Keywords: thermochromic textile material, fabric, electrical circuit, temperature.

Введение

В современной текстильной промышленности появляется все больше инноваций, которые полностью меняют представление о ткани и ее возможностях [1...3]. Термохромная ткань, изменяющая свой цвет в зависимости от температуры, является новшеством в данной отрасли. Это открывает новые возможности в области дизайна одежды, ее функциональности. Существует несколько разновидностей “умных” тканей, которые меняют свой цвет.

SMART-ткани представляют собой текстильный материал, изменяющий свой цвет под воздействием различных внешних факторов, таких как свет, электричество, давление и температура [4...6]. Данный тип тканей включает в себя фото-, термо-, электро- и пьезохромные ткани, а также текстильные материалы, подвергнутые влажному хромированию [7, 8]. Фотохромные ткани изменяют свой цвет благодаря преобразованию вещества А в изомерное вещество В при воздействии световых волн. Интересно, что при удалении источника света или его смене вещество В вновь превращается в вещество А и цвет возвращается к исходному. Термохромные материалы изменяют свой цвет за счет изменения молекулярной структуры пигмента под воздействием температуры. Например, термохромное текстильное полотно может изменить цвет при контакте с человеческим телом или любым другим источником тепла, но вернет исходный цвет при удалении теплового воздействия. Электрохромные ткани меняют цвет под воздействием внешнего электрического поля. Оптические свойства этих материалов обратимы, и исходное состояние восстанавливается при изменении полярности напряжения [9]. Пьезохромные ткани

чувствительны к давлению и изменяют цвет через матрицу, образованную проводящими волокнами, при наложении давления на ткань [10...13].

Различают реверсивные (обратимые) и нереверсивные меняющие цвет системы. Красители, способные к термохромному переходу, могут иметь органическую, металлорганическую и неорганическую природу [14]. Термохромные текстильные материалы применяются с неорганическими и органическими системами. К неорганическим системам относятся комплексы переходных металлов. Ограничивающими факторами применения неорганических соединений являются высокие температуры и в большинстве своем необратимый характер их цветового перехода. Несмотря на это, высокие температуры термохромного перехода дают возможность использования их для окраса боевой одежды пожарных, так как яркий температурный индикатор будет свидетельствовать о том, что в скором времени теплозащитные свойства костюма ухудшатся. Как пример металлоорганического красителя, можно привести гибридные молекулы с неорганическим 2D-слоем [15], их окраска оранжевого цвета (при комнатной температуре) меняет свой цвет на красный при 80°C.

Красители органической природы имеют чаще всего температурный переход ниже, чем красители неорганической природы, и в основном всегда при удалении источника тепла цвет возвращается к своему термически более стабильному состоянию [16].

Существует ряд научных работ, посвященных исследованию термохромных текстильных материалов. Так, французские исследователи из Школы текстильной инженерии и инноваций (Рубе, Франция)

разработали гибкое текстильное электрохромное устройство первого поколения. Гибкий электрохромный текстильный дисплей (рис. 1) состоит из четырехслойной сэндвич-структуры, содержащей тонкую разделительную ткань с электрохромным компаундом (берлинская лазурь), проводящий слой и два электрода; нижний и верхний слои выполнены в виде прозрачных полимерно-пленочных материалов. При питании от батареи низкого напряжения эта структура способна генерировать обратимое изменение цвета [17].

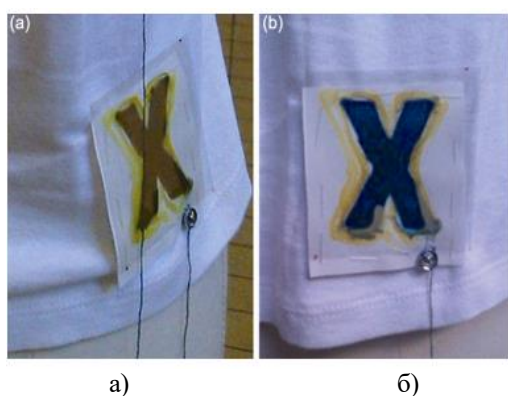


Рис. 1

В работах [18, 19] проведены комплексные исследования процессов получения образцов термохромного текстиля. Коммерческие термохромные красители наносились на проводящую хлопчатобумажную ткань, изготовленную с использованием нихромовой/хлопковой пряжи в утке и 100% хлопка в основе. Ткани предварительно обрабатывались и окрашивались термохромными пигментами отдельно, в сочетании друг с другом или в смеси с нетермохромными пигментами. Уточные нити

были соединены, чтобы обеспечить прохождение тока через ткань и выделение омического тепла для повышения температуры ткани. Устойчивость образцов к стирке оказалась удовлетворительной во всех случаях, за исключением желтого красителя. Заданные цветовые эффекты, такие как камуфляж или новый дизайн, можно получить путем комбинирования термохромных красителей с обычными пигментами или термохромными красителями с разными температурами активации.

Применение термохромных тканей может быть разнообразным. В области спортивной одежды термохромная ткань может использоваться для изготовления интеллектуальных спортивных костюмов, которые будут контролировать теплообмен во время тренировок и соревнований, что позволит спортсмену лучше следить за своим состоянием и адаптироваться к переменным условиям [20]. Так, американскими учеными разработана «умная» одежда для контроля оптимальной температуры тела во время физической активности. В одежде используются термохромные красители и термохромные чернила, чтобы указать на изменения температуры тела по мере того, как начинается и прогрессирует физическая активность. Термохромные красители и чернила определяют, когда температура оболочки тела достигает температуры, указывающей на оптимальную работу мышц, и сообщают владельцу одежды, следует ли увеличивать или уменьшать интенсивность физической активности, чтобы установить или поддерживать оптимальную температуру оболочки тела (рис. 2).

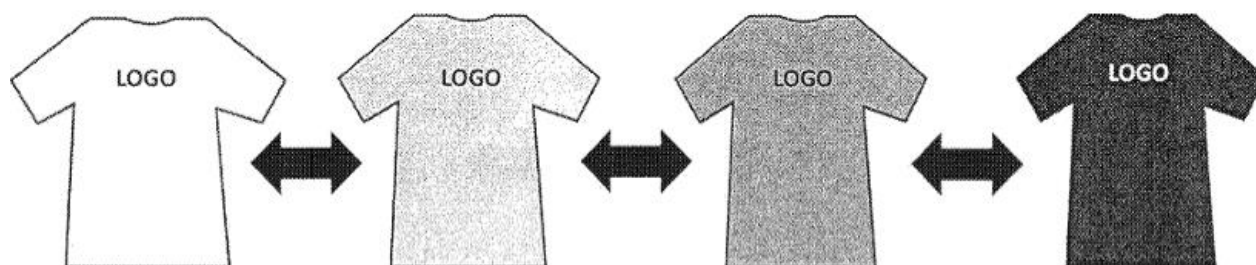


Рис. 2

Кроме того, данная ткань может быть использована в спецодежде, например, в костюме для пожарных в качестве температурного индикатора, который с повышением температуры будет свидетельствовать о том, что в скором времени теплозащитные свойства костюма ухудшатся [21]. Также термохроматическая ткань может быть использована в дизайне интерьера и предметах быта, чтобы создать интересные и эстетически привлекательные эффекты. Данный материал позволяет экспериментировать с уникальными эффектами и создавать динамические и интерактивные костюмы. Кроме того, такая одежда может быть полезной для понимания изменений температуры тела и помощи в регулировании комфорта в различных условиях.

Актуальность использования термохромных красителей в качестве средства имитации конструктивных элементов одежды, таких как выточки, рельефы, декоративные элементы (карманы, пуговицы, застежки), при проектировании изделий из трикотажа заключается в возможности создания уникальных эффектов и визуальных изменений восприятия формы тела человека при изменении температуры [22]. Это позволяет дизайнерам и производителям одежды экспериментировать с внешним видом изделий, делая их более интересными и привлекательными для потребителей [23]. Такие эффекты могут привлечь внимание покупателей и стать ключевым преимуществом в конкурентной борьбе на рынке моды. С учетом все более стремительного развития индустрии моды и повышения требований к оригинальности и инновациям использование термохромных красителей при проектировании и изготовлении одежды становится особенно актуальным в современном мире.

Целью данной работы является разработка способа проектирования плотнооблегающих изделий повседневного назначения из термохромных трикотажных полотен со свойствами имитационного моделирования

конструктивных эффектов. В качестве проектируемого изделия выбрано боди. Боди – это плечевая одежда бельевого ассортимента для женщин, детей, плотно облегающая туловище, в которой лиф с рукавами или без таковых соединен с трусами, с застежкой внизу или на плечах.


Материалы и методы

В качестве термохромного материала выбран образец трикотажа, состоящий из 60% хлопка, 34 % полиэстера, 6 % лайкры (спандекса), который соединен с термохромным пигментом, благодаря чему меняет цвет от тепла. Разработка технического эскиза выполнена в ПО CorelDraw 2020, построение конструкции осуществлялось в САПР Grafisv.11.

Теплофизические свойства нагревательного контура изучены с помощью термометра на тепловизоре FLUKE 179. Измерения цвета термохромных образцов проводили по двум параметрам: освещенности и коду цветовой модели RGB. Освещенность измерена в люксах с помощью люксметра.

После расчета нагревательного контура для изготовления электрической схемы выбрана токопроводящая нить, состоящая из нержавеющей волокон, имеющая удельное сопротивление $1 \dots 1,2$ Ом·см, главной характеристикой которой является нержавеющий сплав, выдерживающий высокие температуры и не воспламеняющийся при пайке. Также использованы заизолированные медные провода с площадью сечения жилы $0,2 \text{ мм}^2$ и аккумуляторы Li-ion 18650 с напряжением 3,7 В, емкостью 2000 мА·ч. Для постоянного нагрева электрическая цепь подключалась к источнику питания, подача напряжения регулировалась за счет кнопки включения/выключения.

Для проведения эксперимента использован производственный парогенератор с утюгом мощностью 1800 Вт, с максимальным давлением 2,5 бар, а также дублирующий материал на трикотажной основе. Структурные характеристики используемого материала представлены в табл. 1.

Показатель	Значение показателя	Изображение образца
Поверхностная плотность, г/м ²	146,50	
Толщина ткани, мм	0,339	
Переплетение	гладь	
Волокнистый состав	60% хлопка, 34 % полиэстера, 6 % лайкры (спандекса)	

Результаты и их обсуждение

Разведывательные эксперименты заключались в том, чтобы определить максимально возможное количество нагреваний и охладжений термохромного текстиля, при котором он не потеряет свое главное свойство – проявлять другой цвет от высокой температуры и возвращаться к исходному состоянию от пониженной температуры. Образец ткани нагревался, а затем сразу же охлаждался при более низкой температуре, равной 5...6 °С. Данное действие повторялось 100 раз. Если в первый десяток раз образец приобретал прежний внешний вид моментально, то к 60...70 разу на возвращение его к начальному состоянию уже требовалось больше времени – порядка 5...8 секунд. Тем не менее после действий по нагреванию и охлаждению образца, повторяющихся 100 раз, образец все так же возвращался к исходному состоянию без белых следов от нагрева.

Проведена проверка растяжимости термохромного токопроводящего полотна после дублирования образца материала клеевой прокладкой на трикотажной основе, сохранения способности проявлять другой цвет и возвращаться к прежнему состоянию после остывания. Эксперимент проводился на образце, который был продублирован и оставлен на горячей поверхности на 30 минут. После истечения времени образец охлаждался и материал возвращался к исходному состоянию. Можно сделать вывод, что после многочисленных манипуляций данный материал не ухудшается в технических характеристиках, а остается таким же растяжимым и прочным.

Далее собрана экспериментальная электрическая цепь, состоящая из медного нетканого полотна, токопроводящей нити, источника питания в виде одной аккумуляторной батарейки, а также термохромного материала. При замыкании цепи ток поступает от аккумулятора, токопроводящая нить нагревается и на ткани начинает проявляться рисунок, как представлено на рис. 3.

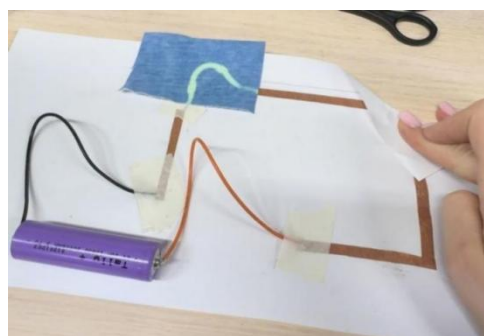


Рис. 3

На рис. 4 представлены варианты модельных конструкций для дальнейшего проектирования, в качестве основной модели выбрана модель справа – боди.

На основе художественного эскиза разработан технический эскиз, который послужил эталоном для построения лекал. Параллельно методом наколки определялся вариант наилучшего расположения контуров токопроводящей нити на манекене. При этом учитывались некоторые особенности:

- длина контуров должна быть одинаковой, допускается небольшое расхождение;
- контуры не должны пересекаться, иначе они должны быть изолированы друг от друга для предотвращения горения;

- расположение контуров должно соответствовать изначальной художественной задумке.



Рис. 4

Опытным путем определено, что оптимальная длина одного контура равна ± 70 см, для сохранения напряжения и увеличения силы тока лучше всего использовать параллельное подключение источников тока к токопроводящим нитям. При данном подключении рисунок на ткани проявляется четким и ярким при напряжении, равном 7,4 В, и силе тока 0,4 А.

На основании проведенных экспериментов, а также художественного и технического эскизирования на разработанных лекалах, в частности на лекале переда, обозначено место расположения нагревательных контуров (рис. 5).

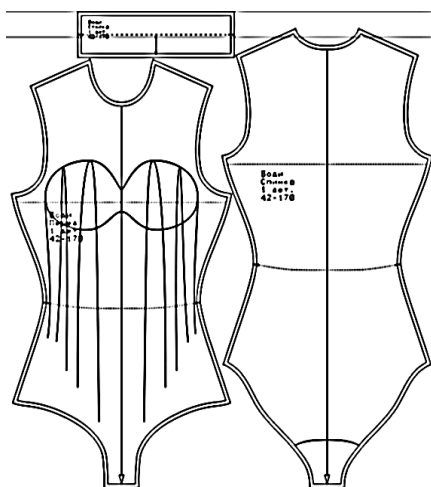


Рис. 5

На рис. 6 представлена упрощенная электрическая схема нагревательного контура.

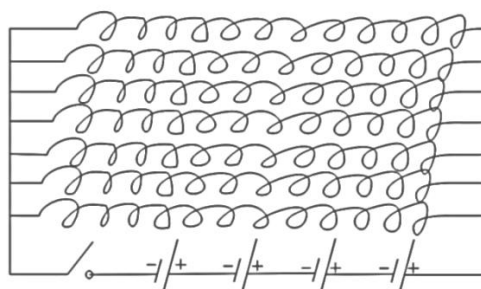


Рис. 6

Расчет нагревательного контура проведен по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, Дж; I – сила тока, А; R – сопротивление проводника, Ом; t – время, с.

Так как произведено последовательное подключение источников тока в виде четырех аккумуляторов, то сила тока равняется 0,8 А, а напряжение равно сумме напряжений на отдельных участках цепи, то есть 14,8 В.

Значение сопротивления проводника определяется по формуле

$$R = \rho \frac{l}{s}, \quad (2)$$

где R – сопротивление проводника, Ом; ρ – удельное сопротивление, Ом·м; l – длина проводника, м; s – площадь поперечного сечения, м².

Таким образом,

$$R = 0,017 \frac{0,7}{0,002} = 5,9 \text{ Ом}. \quad (3)$$

Время нагрева контура составляет 8 с, из этого следует, что

$$Q = 0,8^2 \times 5,9 \times 8 = 30 \text{ Дж}. \quad (4)$$

Для сравнения выбраны точки на нагревательном контуре (нечетные позиции в табл. 2), а также на самом изделии (четные позиции в табл. 2).

Показатели	Измеряемые точки					
	1	2	3	4	5	6
Цвет, код RGB	Rgb (224,116,25)	Rgb (10,34,184)	Rgb (24,219,114)	Rgb (12,137,243)	Rgb (17,242,114)	Rgb (12,144,244)
Освещенность, люкс	300	300	300	300	300	300
Температура, °C	46,8	22,4	29,3	19,1	27,5	18,0

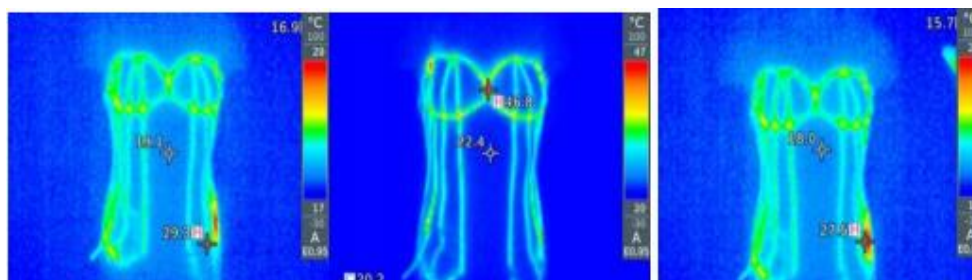


Рис. 7

По результатам термограмм с тепловизора (рис. 7) можно сделать вывод, что максимальная температура нагревательного контура равна 46,8°C, а минимальная – 27,5°C, что является приемлемым уровнем нагревания изделия для комфортной эксплуатации в реальных условиях.

ВЫВОДЫ

Преимущества использования термохромного материала в швейной промышленности заключаются в возможности изменения цвета изделия при изменении температуры, что делает его уникальным и привлекательным для потребителя. Токопроводящие нити и термохромный материал позволяют создавать функциональные изделия, которые могут использоваться в современных технологиях. Основные недостатки – высокая стоимость производства изделий, сложность в производстве, обслуживании и уходе за ними. Кроме того, термохромный материал может потерять свои свойства при повреждении или сильном механическом воздействии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Khoiyangbam R.S. et al.* Biogas technology: Towards sustainable development, Energy and Resources Institute, 2011.
2. *Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Ташпулатов С.Ш.* Электронный текстиль: обзор основных направлений исследований // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 5...12. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_5.
3. *Tyurin I., Tashpulatov S., Leonova I. et al.* Biomaterials for sustainable textile-based sensing applications. E3S Web of Conf., 458 02004. – DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802004_2023
4. *Seeboth A., Loetzsh D.*, Thermochromic Phenomena in Polymers (Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited,) 17-2008.
5. *Tao X (Ed.)*, Smart Textiles, Fabrics and Clothing (Cambridge: Woodhead Publishing), 2001.
6. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* Fibre Chemistry 51(2), 139-146 - 2019.
7. *Worbin L.* Designing Dynamic Textile Patterns, Studies in Artistic Research No1, PhD Thesis. (University of Borås, Sweden), 2010, pp.139...160.
8. *Tyurin I.N., Kuzmin A.G., Komisaruk L.V., Tashpulatov S.Sh.* E-textile touch button placement with a help-request function for smart sportswear, E3S Web Conf., 431 - 06017 – 2023.
9. *Сашина Е.С., Демидов А.В., Луканин П.В. и др.* Полиуретановый кожзаменитель с термохромным колористическим эффектом // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2022. Т. 58, № 4. – С. 73...77. – DOI 10.46418/0021-3489_2022_58_04_15 – 2022.
10. *Morelle Q., Senani S., Nicole L. et al.* Hybrid piezochromic coatings for impact detection on composite substrates for aeronautic. Materials Letters. 253. 10.1016/j.matlet.06.045 – 2019.
11. *Seeboth A., Loetzsch D., Ruhmann R.* Piezochromic Polymer Materials Displaying Pressure Changes in Bar-Ranges. American Journal of Materials Science. 1. 139-142. 10.5923/j.materials.20110102.23 - 2012.
12. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Tashpulatov S.S. et al.* Numerical Simulation of the Pressure of a Compression Shell for Sports Purposes. Fibre Chem 54, 333–336 - 2023. – <https://doi.org/10.1007/s10692-023-10403-z>

13. *Mattila H.R.* Intelligent Textiles and Clothing. 2006.

14. *Basak S., De Arnab L., Animesh B. et al.* Stimuli-responsive textile materials: scientific approaches and technical behaviour. 10.1016/B978-0-443-15471-3.00013-3. – 2024.

15. *Yu H., Wei Z., Hao Y. et al.* Reversible solid-state thermochromism of a 2D organic–inorganic hybrid perovskite structure based on io-doplumbate and 2-aminomethyl-pyridine // *New Journal of Chemistry*. 2017. № 18. P. 9586...9589.

16. *Meunier L., Kelly F., Cochrane C., Koncar V.* Flexible displays for smart clothing: Part II. Electrochromic displays // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2011. 36. P. 429...435.

17. *Mehta S., Kushwaha A., Kisannagar R.R., Gupta D.* Fabrication of a reversible thermochromism based temperature sensor using an organic–inorganic composite system // *RSC Advances*. 2020. № 36. P. 21270...21276.

18. *Heyse P., Buyle G., Beccarelli P.* MULTITEXCO - High Performance Smart Multifunctional Technical Textiles for Tensile Structures. *Procedia Engineering*. 155. 10.1016/j.proeng.2016.08.002 – 2016.

19. *Chowdhury M., Butola B., Joshi M.* Application of thermochromic colorants on textiles: Temperature dependence of colorimetric properties. *Coloration Technology*. 129. 10.1111/cote.12015 – 2013.

20. Пат. USRE49102E1, МПКА41D 13/00. Apparel with thermochromic dyes for monitoring and optimizing exercise performance.

21. *Day J.H.* Thermochromism // *Chem. Rev.* 1963. № 63. P. 65...80.

REFERENCES

1. *Khoiyangbam R.S. et al.* Biogas technology: Towards sustainable development, Energy and Resources Institute, 2011.

2. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Tashpulatov S.S.H.* Electronic textiles: a review of main research areas // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2024, 1(409), pp. 5...12. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_5.

3. *Tyurin I., Tashpulatov S., Leonova I. et al.* Biomaterials for sustainable textile-based sensing applications. E3S Web of Conf., 458 02004. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802004> -2023

4. *Seeboth A., Loetzsh D.* Thermochromic Phenomena in Polymers (Shawbury: Smithers Rapra Technology Limited,) 17- 2008.

5. *Tao X* (Ed.), *Smart Textiles, Fabrics and Clothing* (Cambridge: Woodhead Publishing), 2001.

6. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* *Fiber Chemistry* 51(2), 139-146 - 2019.

7. *Worbin L.* Designing Dynamic Textile Patterns, *Studies in Artistic Research No1*, PhD Thesis. (University of Borås, Sweden), 2010, pp.139...160.

8. *Tyurin I.N., Kuzmin A.G., Komisaruk L.V., S.Sh. Tashpulatov.* E-textile touch button placement

with a help-request function for smart sportswear, E3S Web Conf., 431 - 06017 – 2023.

9. *Sashina E.S., Demidov A.V., Lukanin P.V. et al.* Polyurethane leatherette with thermochromic coloristic effect // *Izvestia of higher educational institutions. Technology of light industry*. 2022, vol. 58, No. 4. p. 73...77. – DOI 10.46418/0021-3489_2022_58_04_15 – 2022.

10. *Morelle Q., Senani S., Nicole L. et al.* Hybrid piezochromic coatings for impact detection on composite substrates for aeronautic. *Materials Letters*. 253. 10.1016/j.matlet.06.045 – 2019.

11. *Seeboth A., Loetzsch D., Ruhmann R.* Piezochromic Polymer Materials Displaying Pressure Changes in Bar-Ranges. *American Journal of Materials Science*. 1. 139-142. 10.5923/j.materials.20110102.23 - 2012.

12. *Tyurin, I.N., Getmantseva, V.V., Tashpulatov, S.S. et al.* Numerical Simulation of the Pressure of a Compression Shell for Sports Purposes. *Fibre Chem* 54, 333–336 - 2023. <https://doi.org/10.1007/s10692-023-10403-z>

13. *Mattila, H.R.* Intelligent Textiles and Clothing. 2006.

14. *Basak S., De, Arnab L., Animesh B., Manik D., Sekhar A., Firoz M.* Stimuli-responsive textile materials: scientific approaches and technical behaviour. 10.1016/B978-0-443-15471-3.00013-3. – 2024.

15. *Yu H., Wei Z., Hao Y., Liang Z., Fu Z., Cai H.* Reversible solid-state thermochromism of a 2D organic–inorganic hybrid perovskite structure based on io-doplumbate and 2-aminomethyl-pyridine // *New Journal of Chemistry*. 2017. № 18. P. 9586...9589.

16. *Meunier L., Kelly F., Cochrane C., Koncar V.* Flexible displays for smart clothing: Part II. Electrochromic displays // *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 2011, 36. P. 429...435.

17. *Mehta S., Kushwaha A., Kisannagar R. R., Gupta D.* Fabrication of a reversible thermochromism based temperature sensor using an organic–inorganic composite system // *RSC Advances*. 2020. № 36. P. 21270...21276.

18. *Heyse P., Buyle G., Beccarelli P.* MULTITEXCO - High Performance Smart Multifunctional Technical Textiles for Tensile Structures. *Procedia Engineering*. 155. 10.1016/j.proeng.2016.08.002 – 2016.

19. *Chowdhury M., Butola B., Joshi M.* Application of thermochromic colorants on textiles: Temperature dependence of colorimetric properties. *Coloration Technology*. 129. 10.1111/cote.12015 – 2013.

20. Пат. USRE49102E1, МПКА41D 13/00. Apparel with thermochromic dyes for monitoring and optimizing exercise performance.

21. *Day J.H.* Thermochromism // *Chem. Rev.* 1963. № 63. P. 65...80.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 20.06.24.