

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2019, №4, Том 4 / 2019, No 4, Vol 4 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2019.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/08TLKL419.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Тюрин И.Н. Возможности использования материалов с памятью формы в процессе проектирования одежды с терморегулирующими свойствами // Научный журнал «Костюмология», 2019 №4, <https://kostumologiya.ru/PDF/08TLKL419.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Belgorodsky V.S., Andreeva E.G., Getmantseva V.V., Tyurin I.N. (2019). Possibilities of using shape memory materials in the design of garments with thermoregulating properties. *Journal of Clothing Science*, [online] 4(4). Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/08TLKL419.pdf> (in Russian)

УДК 687.01

ГРНТИ 64.29.81

Белгородский Валерий Савельевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Ректор
Доктор социологических наук, профессор
E-mail: rector@rguk.ru

Андреева Елена Георгиевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: elenwise@mail.ru

Гетманцева Варвара Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: getmantseva@inbox.ru

Тюрин Игорь Николаевич

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Аспирант
E-mail: iniruyt@gmail.com

**Возможности использования материалов
с памятью формы в процессе проектирования одежды
с терморегулирующими свойствами**

Аннотация. Работа посвящена изучению возможностей внедрения материалов с памятью формы собственной конфигурации в процесс проектирования инновационных швейных изделий, обладающих способностью к саморегуляции теплофизических характеристик пододежного пространства и, таким образом, достижению оптимальных показателей теплового баланса. В результате исследования материалов с памятью формы в

процессе охлаждения нитей посредством тепловизионного анализа получены экспериментальные зависимости температур охлаждения проводов от времени остывания. В работе сформирован перечень характеристик для оценки деформационных свойств нитей с функцией памяти формы. Характеристики получены в результате изменения двух параметров: продольного размера нити (длины) и изменения запрограммированной конфигурации контура с функцией памяти формы при прохождении фазового превращения. Разработаны три вида конфигурации нитей с функцией памяти формы: нить, согнутую под прямым углом, для изучения релаксационных характеристик (жесткости); нить, в конфигурации «петельная структура». В результате исследования температуры на границе пододежного пространства «человек-одежда», установлена низкая вероятность достижения температур активации в диапазоне температур человеческого тела. В результате проведенного исследования температур на поверхности плечевых швейных изделий с утеплителем и без, установлено отрицательное влияние пакета материалов на температуру внешней границы пододежного пространства, и таким образом, на возможность достижения материалов с памятью формы температуры активации. С учетом высокой корреляционной связи между температурой активации и прибавками на свободу облегания, при которой достижение температуры активации возможно только при максимальном прилегании к телу человека, можно сделать вывод о потере тепла при проходе через пакет материала. Установлена необходимость проведения исследования температуры в пододежном пространстве в процессе динамического состояния человека. Исследование направлено на разработку одежды с повышенными эргономическими показателями, в том числе спортивного и повседневного назначения.

Ключевые слова: умная одежда; высокофункциональная одежда; одежда с функцией памяти формы; терморегулирующий текстиль; тепловой баланс; материалы с памятью формы; нитинол

В настоящее время особое внимание уделяется научным областям исследований, направленных на обеспечение комфорта человека: обеспечение теплового баланса [1; 2], регулировки влажности, защиты от негативных факторов окружающей человека среды [3; 4], снижения травмоопасности [5], обеспечения диагностических и мониторинговых функций [6].

Потенциально широкие возможности в области повышения комфортности одежды и достижение теплового баланса имеют направления, появившиеся благодаря появлению «умных», высокотехнологичных и высокофункциональных материалов [7]. Среди наиболее интересных материалов, получивших развитие в текстильной отрасли, можно выделить материалы с функцией памяти формы (МПФ). МПФ – это вид материалов, чувствительных к внешним воздействиям, с возможностью изменения формы в процессе фазового перехода, фиксирования запрограммированной формы и возвращения в исходное состояние в процессе обратного фазового перехода. Среди видов внешних воздействий выделяют тепло, свет, влажность, электрическое поле, магнитную энергию, рН и т. д. Наиболее коммерчески доступными для проведения научных исследований являются материалы, чувствительные к воздействию температуры. При этом изменение температуры может происходить под воздействием разных источников: температуры окружающей среды, температуры тела, под воздействием света или как следствие протекания электрического тока через материал. Еще одним важным свойством МПФ является способность сокращать свою длину в процессе аустенитного фазового превращения на 3–6 %.

МПФ подразделяются на материалы, созданные на полимерной основе (shape memory polymers – SMP/ППФ) и из металлического сплава (shape memory alloy – SMA/СПФ) (рис. 1) [8]. ППФ являются материалами органического происхождения, СПФ – неорганического.

ППФ представляют собой статистически чередующиеся мягкие/жесткие гомополимерные блоки в составе блока-сополимера, при этом действие полимеров в значительной мере зависит от температуры стеклования T_g [9]. Принцип действия ППФ представлен на рис. 1. Впервые свойство памяти формы упоминается в 1941 году в патенте (США) по разработке стоматологического материала на основе эфирной смолы метакриловой кислоты [10]. Особое развитие ППФ получили в 1980-х годах, и в настоящее время ведутся активные работы в отношении внедрения полимеров в производство текстильных изделий. Наиболее популярными видами полимеров являются норборнен, транс-полиизопрен и сегментированный полиуретан [11]. Эмульсию, полученную на основе ППФ, используют для финишной отделки текстильных материалов. Посредством данного вида отделки обработанная ткань получает свойства повышенной гладкости, расправляемости после механического воздействия, устойчивости к усадке, химической стойкости [12]. Такой вид отделки выступает в качестве замены традиционной финишной отделке тканей, использующей канцерогенные химические вещества на основе формальдегида, оказывающие пагубное воздействие на окружающую среду и здоровье человека [13].

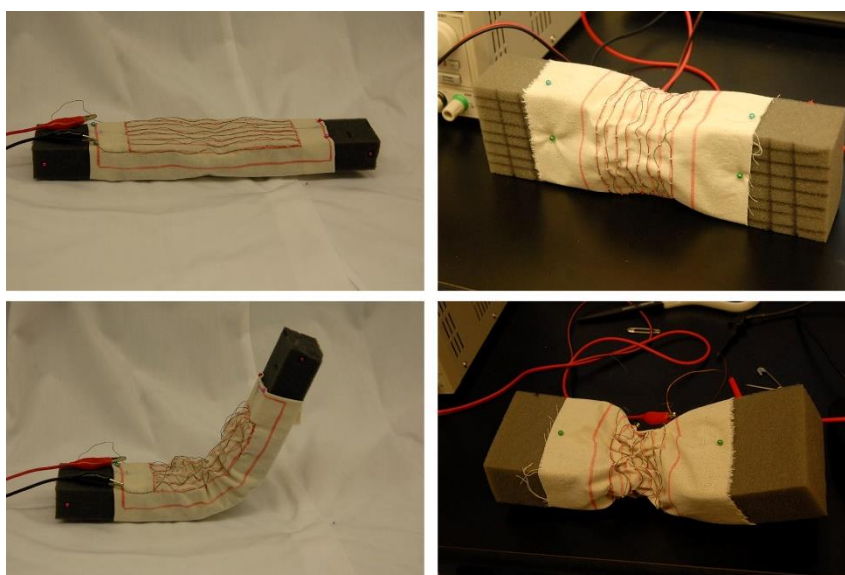


Рисунок 1. Принцип действия МПФ на примере текстиля на основе 3D-структур с памятью формы (взято из открытых источников <https://phys.org/news/2014-09-robotic-fabric-wearable-robots.html>)

Среди других областей применения ППФ можно привести разработку спортивной одежды с технологией терморегуляции и регулировки влажности. В данной технологии при увеличении температуры на поверхности тела спортсмена сверх температуры стеклования T_g начинает увеличиваться молекулярный свободный объем ППФ, формируя на поверхности текстильного материала структуру с повышенной пористостью (увеличенными диаметрами пор). Таким образом, излишнее количество тепла и влаги отводится с поверхности тела спортсмена в окружающую среду, формируя в системе «человек-одежда» баланс микроклимата пододежного пространства [9].

Несмотря на наличие способности существенно улучшить эргономические характеристики текстильных материалов, можно отметить ряд недостатков ППФ по показателям прочности, стабильности термических и циклических свойств, восстановительных напряжений [11]. В то же время к преимуществу СПФ как материалов неорганического происхождения можно отнести отсутствие вышеуказанных недостатков.

В работе нами предложено использовать МПФ в процессе проектирования одежды, способной сокращать объем пододежного пространства при повышении температуры под одеждой выше температуры активации [7]. Данная технология позволит получить одежду, обладающей функцией саморегуляции теплового баланса пододежного пространства.

Для этого решены следующие задачи:

- исследована температура в пододежном пространстве изделия при опытной носке в статическом состоянии человека;
- исследовано влияние объемной конструктивной прибавки на температуру в пододежном пространстве;
- исследовано изменение термобаланса в пододежном пространстве в статическом состоянии человека;
- разработан каркас из нитей МПФ, повторяющий пространственную форму плечевого изделия без рукавов.

Структурные характеристики используемого в работе МПФ приведены в табл. 1

Таблица 1

Структурные и термо-физические характеристики образца нитей из МПФ

Показатель	Значение показателя
Диаметр d, мм	0,125
Удельное сопротивление ρ , $\Omega/\text{м}$	20
Оптимальная величина электрического тока, мА	1000
Оптимальная тяговая сила, г.	930
Диапазон продольной деформации, %	3–5
Средняя температура активации, $^{\circ}\text{C}$	70
Начальная температура активации, $^{\circ}\text{C}$	68
Конечная температура активации, $^{\circ}\text{C}$	78
Начальная температура релаксации, $^{\circ}\text{C}$	52
Конечная температура релаксации, $^{\circ}\text{C}$	42
Оптимальная величина напряжения, В/м	4,4
Время релаксации, сек.	1,6
Показатель термальных циклов сплава, цикл/мин.	23
Теплоемкость, Дж/г $^{\circ}\text{C}$	0,32
Скрытая теплота, Дж/г	24,2

Как известно [5], МПФ способны принимать свою заданную форму в процессе аустенитного фазового превращения, а также возвращаться в исходное состояние (конфигурацию) с высокой точностью только после предварительного программирования МПФ, под которым подразумевается проведение предварительных фазовых превращений материала/контура в заданной конфигурации в течении нескольких раз, после чего материал «запоминает» и воспроизводит заданное состояние с высокой точностью.

В работе сформирован перечень характеристик для оценки деформационных свойств нитей из МПФ, представленный на рис. 2. Характеристики получены в результате изменения двух параметров: продольного размера нити (длины) и изменения запрограммированной конфигурации контура МПФ при прохождении фазового превращения.

Разработаны 3 вида конфигурации МПФ: нить, согнутую под прямым углом, для изучения релаксационных характеристик (жесткости); нить, в конфигурации «петельная структура»; нить в форме эллипса, имитирующего базовую конфигурацию пространственной формы швейных изделий в поперечном сечении (стана).

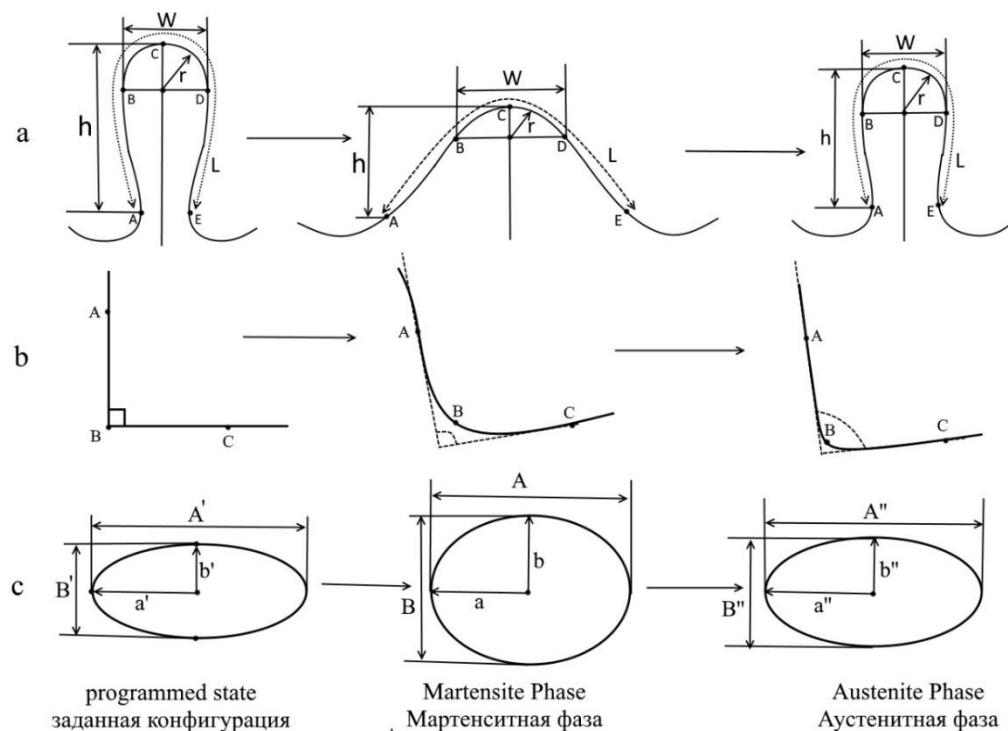


Рисунок 2. Конфигурации нитей из МПФ

Материалы с памятью формы производятся в широком диапазоне температур активации: 10, 35, 70, 90 °С. Наиболее интересными с позиции использования в производстве швейных и текстильных изделий являются материалы с температурой активации 35 °С, приближенных к температуре тела или пододежного пространства изделия. В работе использован МПФ с температурой активации 70 °С. Необходимо изучить соответствие заявленных производителем температурных характеристик МПФ фактическим, а также изучить скорость остывания материала, для чего получена серия тепловизионных снимков. Согласно полученным данным (рис. 3), время полного остывания материала составило 10–14 секунд, после чего температура принимала значения температуры окружающей среды 25,9 °С. Остывание внешней оболочки материала характеризуется двумя резкими падениями температуры в начале процесса остывания и в период 6–9 сек. Остывание пространства, непосредственно окружающего материал (ширина пространства 1 см) происходило равномерно в течении 8 сек. до температуры 26,8 °С. Температура окружающей среды опускалась с 27,5 °С до 26,8 °С.

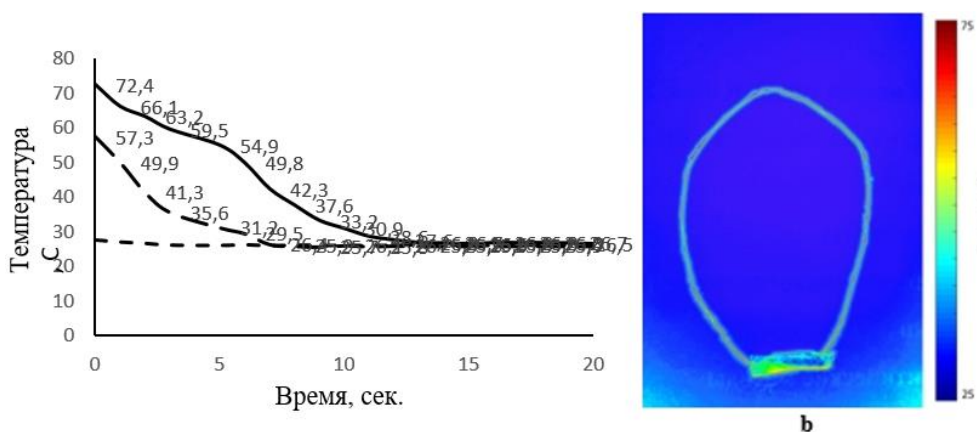


Рисунок 3. Температура охлаждения проводов SMA (а) и тепловое изображение провода SMA, нагретого до температуры активации (б)

Так как в работе использовался материал с температурой активации 70 °С в силу недоступности в данный момент материалов с более низкой температурой активации, является необходимым исследовать температуру пододежного пространства на его внешней границе – материале швейного изделия. Метод тепловизионного анализа является подходящим также для описанной задачи.

Объектом исследования – плечевое изделие без рукавов с различным объемом пододежного пространства. Субъектом исследования выступил молодой человек в возрасте 25 лет, рост 172, вес 60 кг.

Для изготовления макетов использовали текстильные материалы (ТМ) различной плотности, волокнистого состава и назначения для моделирования максимально широкого спектра температур пододежного пространства, как в статическом положении испытуемого, так и динамическом. Структурные характеристики исследуемых текстильных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2
Структурные характеристики исследуемых текстильных материалов

Наименование показателя	ТМ1	ТМ2
	Бязь хлопковая	Утеплитель Zelwolwateline
Волокнистый состав	100 % ХБ	50 % шерсть, 50 % вискоза
Поверхностная плотность ткани M_1 , г/м ²	140	160
Линейная плотность нитей основы T_o , текс	42	-
Линейная плотность нитей утка T_y , текс	48	-
Плотность ткани по основе, нитей / 10 см	150	-
Плотность ткани по утку, нитей / 10 см	150	-
Толщина ткани b , мм	0,16	5,50
Вид переплетения	Полотняное	Нетканое полотно

Нами изготовлены 3 макета изделий расширенного силуэта. Для моделирования силуэта использовали размерный признак обхват бедер без учета выступа живота и прибавку на свободу облегания к соответствующему признаку. Величину прибавки варьировали в пределах 4 ... 50 см. Первоначально изготовлены 3 макета с максимальной прибавкой 50 см. После проведения измерений с помощью тепловизора мы уменьшали прибавку на некоторую величину. Для уменьшения ширины изделия на уровне обхвата бедер мы использовали конструктивные линии талиевых выточек и боковых срезов.

Таблица 3
Исследование температуры пододежного пространства
в зависимости от величины пространственного зазора между поверхностью
тела человека и внутренней поверхностью изделия

Прибавка к $O_{г3}$, см	Прибавка к O_b , см	Температура внешней границы пододежного пространства, °С							
		M1				M2			
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_1	t_2	t_3	t_4
2,5	50	27,3	28,2	34,3	34,8	26,9	27,3	33,8	32,6
	40	27,6	28,6	33,2	33,9	27,0	28,1	33,9	33,1
	30	28,5	28,9	34,8	35,1	27,9	29,3	34,4	33,9
	20	31,0	29,9	35,7	35,6	30,1	31,0	34,5	34,8
	10	34,8	33,6	35,6	34,9	33,8	34,1	34,9	34,9
	4	35,4	35,1	35,9	35,3	35,1	34,6	34,8	34,2
6,0	50	27,1	26,7	33,8	33,9	26,5	27,8	32,0	31,2
	40	27,5	27,3	33,6	34,6	26,2	27,8	32,3	31,9
	30	28,7	28,1	34,8	34,2	27,1	28,3	32,1	33,2
	20	30,7	30,9	34,9	33,8	29,9	31,6	33,2	34,1
	10	33,5	32,8	35,2	35,6	32,0	33,2	33,9	34,6
	4	34,9	34,9	35,5	35,8	34,6	34,3	34,0	34,2

		Температура внешней границы пододежного пространства, °С							
		M1				M2			
Прибавка к ОгЗ, см	Прибавка к Об, см	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄
10	50	26,9	27,1	31,7	32,1	27,2	27,5	29,9	29,1
	40	27,5	27,3	32,5	33,8	27,0	27,9	30,5	29,6
	30	27,9	28,3	33,8	33,2	27,9	28,6	31,9	30,8
	20	30,3	29,1	33,6	34,1	29,3	31,0	32,8	31,9
	10	32,8	31,8	34,2	34,9	32,1	32,4	34,1	34,2
	4	34,9	34,2	34,9	34,6	34,1	33,9	34,6	34,5

Анализируя полученные данные (табл. 3), установлено, что температура в 35 °С, являющейся температурной точкой активации на внешней границе пододежного пространства, достигается в 13 из 144 измерений. Большинство составляют измерения, проведенные с конструкциями, имеющими минимальную прибавку к обхвату бедер 4, 10 см, а также к обхвату груди в 2,5 см, при условии формирования прямого силуэта изделия (прибавка к Об = {4, 10, 20, 30} [см]).

На предыдущем этапе исследования по результатам проведенных измерений, а также согласно информации, предоставленной производителем о материале, установлено, что МПФ начинает переход в аустенитную фазу при температуре, меньшей заявленной как «температура активации». Так, «начальная температура активации» для материала с $T_{акт} = 70$ °С составляет 68,0–68,4 °С. Таким образом, нами установлен и выделен в табл. 3 гипотетический диапазон начальной температура активации $T_{нач.акт}$ в 33,0–34,9 °С. Количество зарегистрированных в ходе эксперимента случаев составило 61 из 144. Статистическая закономерность достижения $T_{нач.акт}$ сохраняется, как и в случае с $T_{акт}$, описанным выше.

После проведенного сравнительного анализа измеренных температур двух изделий M1 (без утеплителя), M2 (с утеплителем Zelwolwateline), установлено отрицательное влияние пакета материалов на температуру внешней границы пододежного пространства, и таким образом, на возможность достижения МПФ температуры активации. С учетом высокой корреляционной связи между температурой активации и прибавками на свободу облегания, при которой достижение $T_{акт}/T_{нач.акт}$ возможно только при максимальном прилегании к телу человека, можно сделать вывод о потере тепла при проходе через пакет материала.

С другой стороны, утеплители обладают высокими показателями теплоемкости, что в условиях динамического состояния человека в процессе выполнения им физической деятельности, может существенно увеличить скорость/вероятность достижения на границе пододежного пространства $T_{акт}/T_{нач.акт}$, а также длительность аустенитной фазы МПФ в процессе эксплуатации. Для проверки выдвинутой гипотезы предлагается провести дополнительные исследования по изучению влияния утеплителей в составе пакета материалов на теплофизические характеристики МПФ в динамических условиях человека.

В результате исследования МПФ в процессе охлаждения нитей посредством получены экспериментальные зависимости температур охлаждения проводов от времени остывания.

В результате исследования температуры на границе пододежного пространства «человек-одежда», установлена низкая вероятность достижения температур активации 35 °С. В связи с чем возможны 2 способа достижения температуры активации: смена величины температуры активации в сторону понижения либо повышения, а также использование МПФ при проектировании одежды для экстремальных нагрузок (физических, спортивных).

В связи с вышесказанным, рекомендовано проведение исследования температуры пододежного пространства в процессе динамического состояния человека. В случае повышения температуры активации, например, при выборе МПФ с $T_{акт} 70$ °С, необходимо обеспечить изоляцию нитей из МПФ посредством нанесения защитного полиуретанового покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tyurin, I.N., Getmantseva, V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials // *Fibre Chemistry*. – 2018, Vol.50, No.1. – P. 1–9.
2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S. Research of design features of compression sportswear // *Proceedings of the 18th World Textile Conference "Autex 2018: Leading Edge Technologies and Trends in Textiles"*, Istanbul: ITU, 2018. – P. 1019–1022.
3. Белгородский В.С., Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Разработка требований к одежде для спортивных тренировок с различными видами нагрузок // *Дизайн и технологии*. – 2018, № 64. – С. 48–54.
4. Советников Д.А., Мишаков В.Ю., Павлов М.А., Кирсанова Е.А., Трещалин Ю.М. Теоретическое исследование волокнистых материалов с целью расчета и прогнозирования теплофизических свойств // *Дизайн и технологии*. – 2017, №57 (93). – С. 86–93.
5. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Метод Ван-дер-Пау для измерения проводимости «умных» текстильных полотен // *Химические волокна*. 2019. №2. С. 9–14.
6. Советников Д.А., Мишаков В.Ю., Кирсанова Е.А., Трещалин Ю.М. Исследование теплозащитных свойств нетканых утеплителей в пакетах одежды // *Дизайн и технологии*. – 2016, №56 (92). – С. 73–80.
7. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. О влиянии компрессионных изделий спортивного назначения на организм человека // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. №6 (367) с. 131–141.
8. Vasile S., Ciesielska I., Van Langenhove L. Wrinkle Recovery of Flax Fabrics with Embedded Superelastic Shape Memory Alloys Wires // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. – 2012, Vol.93, No.4. – P. 56–61.
9. Mondal S., Hu J., Yang Z., Liu Y., Szete Y.S. Shape Memory Polyurethane For Smart Garment // *Research Journal of Textile and Apparel*. – 2002, Vol.6, No.2. – P. 75–83.
10. Cook F.L., Jacob C.I., Polk M., Pourdeyhimi B. Shape Memory Polymer Fibers for Comfort Wear // *National Textile Center Annual Report*. – N.C. State University, 2005. – 7 p.
11. Hu J., Meng H., Li G., Ibekwe S. A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications // *Smart Materials and Structures*. – 2012, Vol.21, No.5. – P. 1–23.
12. Leng J., Lan X., Liu Y., Du S. Shape-memory polymers and their composites: Stimulus methods and applications // *Progress in Material Science*. – 2011, Vol.56, Is.715. – 16. P. 1077–1135.
13. Cho G, Lee S, Cho J. Review and reappraisal of smart clothing // *The International Journal of Human-Computer Interaction*. – 2009, Vol.25, No.6. – P. 582–617.

Belgorodsky Valery Savel'evich

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: rector@rguk.ru

Andreeva Elena Georgievna

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: elenwise@mail.ru

Getmantseva Varvara Vladimirovna

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: getmantseva@inbox.ru

Tyurin Igor Nikolaevich

Russian state university named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: iniruyt@gmail.com

Possibilities of using shape memory materials in the design of garments with thermoregulating properties

Abstract. The work is devoted to studying the possibilities of introducing materials with shape memory into the design process of innovative garments with the ability to self-regulate the thermophysical characteristics of the clothing space and, thus, achieve optimal heat balance indicators. As a result of the study of materials with shape memory during the cooling of the filaments, experimental dependences of the cooling temperatures of the wires on the cooling time were obtained. In the work, a list of characteristics is formed for evaluating the deformation properties of filaments with a shape memory function. The characteristics are obtained by changing two parameters: the longitudinal size of the thread (length) and changing the programmed configuration of the circuit with the shape memory function during the passage of the phase transformation. Three types of configuration of threads with a shape memory function have been developed: a thread bent at right angles to study relaxation characteristics (stiffness); thread, in the configuration "loop structure"; a thread in the shape of an ellipse imitating the spatial shape of garments in cross section. As a result of studying the temperature at the boundary of the clothing space "man-clothes", a low probability of reaching activation temperatures in the temperature range of the human body is established. As a result of the study of temperatures on the surface of shoulder garments with and without insulation, a negative effect of the package of materials on the temperature of the outer border of the clothing area was established, and thus on the possibility of reaching materials with a memory of the shape of the activation temperature. Given the high correlation between the activation temperature and the increase in freedom of fit, at which the activation temperature can be reached only with maximum fit to the human body, we can conclude that heat is lost when passing through a package of material. The necessity of researching the temperature in the under-clothes space in the process of a person's dynamic state is established. The study is aimed at developing clothes with improved ergonomic indicators, including sports and everyday use.

Keywords: smart clothes; highly functional clothes; clothes with the function of shape memory; temperature-controlled textiles; heat balance; materials with shape memory; nitinol

REFERENCES

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of temperature-controlled textile materials // *Fibrochemistry*. – 2018, v. 50, No. 1. – С. 1–9.
2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Belgorodsky V.S. Study of the design features of compression sportswear // *Materials of the 18th World Textile Conference “Autex 2018: Advanced Technologies and Trends in the Textile Industry”*, Istanbul: ITU, 2018. – P. 1019–1022.
3. Belgorodsky V.S., Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Development of clothing requirements for sports training with various types of load // *Design and Technology*. – 2018, No. 64. – S. 48–54.
4. Advisers D.A., Mishakov V.Yu., Pavlov M.A., Kirsanova E.A., Treschalin Yu.M. Theoretical study of fibrous materials in order to calculate and predict thermophysical properties // *Design and Technology*. – 2017, No. 57 (93). – S. 86–93.
5. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The van der Pauw method for measuring the conductivity of smart textile fabrics // *Chemical Fibers*. 2019. №2. S. 9–14.
6. Advisers D.A., Mishakov V.Yu., Kirsanova E.A., Treshchalin Yu.M. Study of the heat-shielding properties of non-woven insulation in clothing packages // *Design and Technology*. – 2016, No. 56 (92). – S. 73–80.
7. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Belgorodsky V.S. On the effect of compression products on the human body // *News of universities. Technology of the textile industry*. No. 6 (367) p. 131–141.
8. Vasile S., Tseselskaya I., Van Langenhove L. Restoring wrinkles of linen fabrics with embedded superelastic wires from shape memory alloys // *Fibers and textiles in Eastern Europe*. – 2012, vol. 93, No. 4. – S. 56–61.
9. Mondal S., Hu J., Jan Z., Liu Yu., Szet Yu.S. Polyurethane with shape memory for elegant clothes // *Scientific journal of textiles and clothing*. – 2002, volume 6, No. 2. – P. 75–83.
10. Cook F.L., Jacob C.I., Polk M., Pourdeyhimi B. Polymer fibers with a shape memory effect for comfortable wearing // *Annual Report of the National Textile Center*. – N.S. State University, 2005. – 7 p.
11. Hu J., Meng H., Lee G., Ibekwe S. A review of stimulus-sensitive polymers for smart textile applications // *Smart Materials and Structures*. – 2012, volume 21, No. 5. – S. 1–23.
12. Leng J., Lan H., Liu Yu., Du S. Polymers with shape memory and their composites: methods and applications of stimuli // *Progress in materials science*. – 2011, Vol.56, Is.715. – 16. P. 1077–1135.
13. Cho G., Lee S., Cho J. Review and re-evaluation of smart clothes // *International Journal of Human-Computer Interaction*. – 2009, Volume 25, No. 6. – S. 582–617.