

УДК 677.46.494:687.02

**РАЗРАБОТКА МНОГОСЛОЙНОГО
ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕГО ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

**CREATION OF A MULTILAYER
ELECTRICALLY CONDUCTIVE TEXTILE MATERIAL**

В.И. БЕСШАПОШНИКОВА, И.Н. ЖАГРИНА, Л.А. ЛИПАТОВА, Е.Д. ЗМЕЕВА
V.I. BESSHAPOSHNIKOVA, I.N. JAGRINA, L.A. LIPATOVA, E.D. ZMEEVA

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))
(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))
E-mail: vibesvi@yandex.ru

Разработан способ получения многослойного электропроводящего текстильного материала, обеспечивающий быстрый нагрев поверхности материала до 28...45°C и надежное закрепление электропроводящего слоя в структуре материала. Выявленная взаимосвязь структуры и свойств позволяет управлять процессом проектирования таких материалов с учетом их назначения и требований потребителя и выпускать разной ширины 20...60 см и поверхностной плотности 140...250 г/м².

A method for producing an electroconductive laminate textile material that heats the surface of the material to 28...45° C for 1 minute was developed, reliable fastening of the electroconductive layer in the material structure was also created. Identification of patterns allows to manage the process of designing such materials due to their purpose and requirements of the consumer, and to produce different widths from 20 to 60 cm with the surface density from 140 to 250 g/m².

Ключевые слова: метод, электропроводящий, углеродная ткань, нагреваемый слой, текстильные материалы.

Keywords: method, electroconductive, carbon fiber, heating layer, textile materials.

Ассортимент современных текстильных материалов должен отвечать требованиям времени и потребителей: обладать специфическими свойствами, уметь приспособли-

ваться к изменяющимся условиям эксплуатации, обеспечивать комфорт пододежного пространства, работоспособность и хорошее самочувствие человека, быть легким и

надежным. Такие материалы получили название "умный", "интеллектуальный" текстиль. Для решения столь сложной задачи перспективным является создание многослойных и многокомпонентных структур [1].

Этот подход лежит и в основе разработок терморегулируемых систем материалов.

Анализ литературных данных позволил разделить известные способы терморегуляции материалов и изделий условно на три направления:

- разработка токопроводящих эластичных композиционных текстильных материалов за счет напыления металла на нить, текстильную или пленочную основу, а также за счет использования электропроводящих углеродсодержащих элементов в виде углеродной нити, или текстильной основы, содержащей напыленный углерод [2...7];

- разработка систем материалов, способных изменять теплопроводность в зависимости от температуры окружающей среды, за счет того, что теплоотражающие элементы отражают тепло от тела человека вовнутрь пододежного пространства, а теплопроводящие элементы за счет высокой теплопроводности отводят излишек тепла,

создавая комфорт пододежного пространства [8], [9];

- создание терморегулируемых материалов с использованием в качестве наполнителя фазопереходных веществ, способных при переходе из одного фазового состояния в другое поглощать и выделять тепло, поддерживая таким образом микроклимат пододежного пространства [10...16].

В связи с актуальностью развития ассортимента терморегулируемых материалов нами проводились исследования по созданию материалов, позволяющих управлять комфортом пододежного пространства теплозащитной одежды и других изделий бытового и технического назначения, предназначенных для защиты от холода.

Целью данных исследований является разработка способа получения электропроводящего обогревающего текстильного материала, исследование взаимосвязи структуры и свойств разработанных материалов и определение области их применения.

В работе в качестве электропроводящего элемента терморегулируемого слоя использовали углеродную нить УРАЛ (ТУ 6-12-31-717-90). Показатели свойств углеродных нитей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Обозначение углеродной нити		
	Н-205	Н-400	Н-800
Линейная плотность нити, текс	205	400	800
Сопротивление, Ом/м ($\pm 15\%$)	240	120	60
Удельное электрическое сопротивление, $\cdot 10^{-5}$ Ом·м	7...12	5...10	0,7...1,0
Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	1,0	0,9	0,9
Относительная разрывная нагрузка, сН/текс, не менее	24	24	22
Удлинение при разрыве, %, не менее	0,5	0,5	0,5

Для формирования структуры терморегулируемого слоя в качестве основного электроизоляционного слоя (текстильной основы) использовали ткани арт. 210 (100% Хл) или поликоттон (50% ПЭФ 50%Хл) поверхностной плотностью 110 г/м², устойчивые к многократным изменениям температуры, прочные и легкие. В качестве второго (покрывного) электроизоляционного слоя использовали термоклеевой прокладочный материал флизелин клеевой G405 или арт. 56650 (100% ПЭФ) поверхностной плотностью

65 г/м² или дублерин клеевой арт. 514 (100% Хл) поверхностной плотностью 125 г/м².

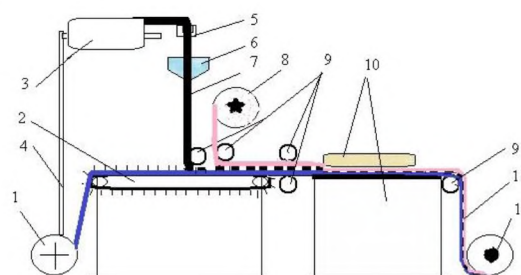


Рис. 1

Формирование структуры многослойного электропроводящего обогревающего материала осуществляли следующим образом (рис. 1 – схема получения многослойного электропроводящего текстильного материала): текстильная основа 1 подается на кардоленту с иглами 2. Электропроводящий слой 7 с бобины 3, установленной в бобинодержатель 4, через направляющее устройство 5 подается на нитеукладчик 6, который укладывает углеродную нить между иглами кардоленты на текстильную основу 1. Покрывной тканый или нетканый текстильный материал с клеевым покрытием 8, огибая направляющий ролик 9, подается в зону формирования структуры многослойного материала и накрывает уложенный электропроводящий слой. Сформированный таким образом пакет материалов, проходя между направляющими роликами 9, поступает на каландр или пресс проходного типа, например, модель QUICK MINI PRESS NHJ-J500. На прессе под давлением и температурой происходит соединение слоев текстильных материалов клеевым термопластичным полимером. При этом электропроводящий слой прочно фиксируется между двумя текстильными диэлектриками, образуя структуру многослойного электропроводящего текстильного материала. Температура и давление выбираются по традиционной схеме с

учетом теплостойкости текстильных материалов и температуры плавления клея [17]. Готовый многослойный электропроводящий текстильный материал (МЭТМ) 11 по направляющему ролику 9 наматывается на приемный вал готовой продукции 12. Таким образом, способ получения МЭТМ достаточно прост и экономичен по сравнению с известными способами [2...8], не требует больших площадей и может быть организован как на текстильном, так и на швейном производстве. Способ позволяет получать МЭТМ разной ширины от 20 до 60 см и поверхностной плотностью от 140 до 250 г/м².

Исследовали влияние способа укладки и линейной плотности электропроводящего элемента, а также напряжения и времени электропитания на проявление электро- и теплофизических свойств разработанного МЭТМ. Исследовали 2 способа укладки углеродной нити: 1-й способ структура типа А – расположение углеродной нити "синусоидально", варьируя расстояние между рядами h от 5 до 50 мм; 2-й способ структура типа В – наложение отрезков углеродной нити друг на друга с образованием квадратных ячеек размером от 10×10 до 50×50 мм.

Кодирование, показатели свойств и структуры исследуемых образцов представлены в табл. 2 – показатели структуры и свойств исследуемых образцов МЭТМ.

Таблица 2

Расположение углеродного волокна в структуре МЭТМ	Обозначение проб МЭТМ	Линейная плотность углеродной нити T, текс	Расстояние между рядами углеродной нити h, мм	Сопротивление R, Ом, при 100 Гц
Тип А	Образец №1	Н-400	50	1,35
	Образец №2	Н-400	20	1,57
	Образец №3	Н-400	5	2,14
	Образец №4	Н-400	10	1,91
	Образец №5	Н-205	10	2,77
	Образец №6	Н-800	10	0,84
Тип В	Образец №7	Н-400	50×50	0,36/0,29 *
	Образец №8	Н-800	20×20	0,29/0,17
	Образец №9	Н-400	20×20	0,84/0,93

Примечание. * В числителе – данные вдоль, в знаменателе – поперек полотна.

Из данных табл. 2 видно, что сопротивление электропроводящего слоя зависит от структуры МЭТМ. В образцах структуры типа А с углеродной нитью Н-400 с увеличением расстояния между рядами от 5 до 50 мм сопротивление снижается с 2,14 до 1,35 Ом (образцы 1...4). С увеличением толщины углеродной нити при одинаковой длине сопротивление снижается с 2,77 до 0,4 Ом (образцы 4...6). В образцах структуры типа В отмечается такая же закономерность. Разные показатели сопротивления одинаковых нитей в долевом и поперечном направлениях ячеек обусловлены неоднородностью структуры углеродной нити, что согласуется с известными данными [18].

Учитывая, что если сила тока одна и та же на всем протяжении электрической цепи, то в любом выбранном участке будет выделяться тепла тем больше, чем выше сопротивление данного участка [19]. Следовательно, увеличением сопротивления участка цепи можно добиться локализованного увеличения выделения тепла на этом участке. Повышение сопротивления мы достигаем уменьшением поперечного сечения нитей и увеличением длины проводника за счет сокращения расстояния между электропроводящими элементами.

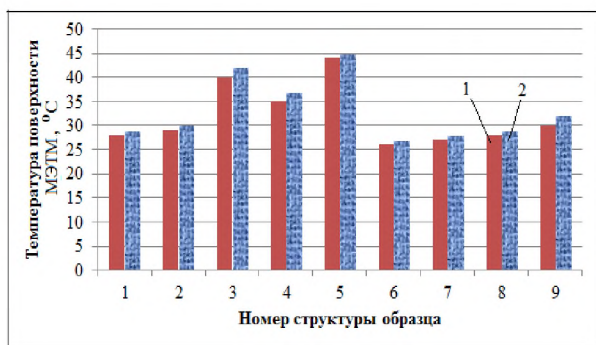


Рис. 2

Исследование электрофизических свойств МЭТМ осуществляли с помощью источника тока – ВУП-2, милливольтметр – С.Р. GOERZ WIEN и термопары. Напряжение изменяли от 12 до 24 В. Результаты исследований показали (рис. 2 – зависимость температуры нагрева поверхности от

структуры МЭТМ и времени подачи напряжения 12 В: 1 – 60 с, 2 – 300 с), что на всех образцах, независимо от напряжения, в течение 60 с температура поверхности МЭТМ достигает максимального значения, после чего изменяется незначительно на 0,5...1,5°C за счет теплотерь в окружающую среду. Температура поверхности в большей степени зависит от структуры МЭТМ. Формирование структуры МЭТМ по типу В неэффективно (рис. 2), так как температура повышается лишь до 28...31°C.

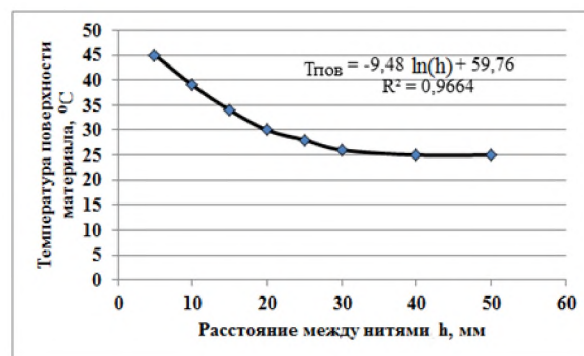


Рис. 3

Формирование структуры по типу А, то есть "синусоидально", позволяет изменять температуру поверхности МЭТМ от 28 до 45°C. Отмечено (рис. 3 – зависимость температуры поверхности МЭТМ от расстояния между углеродными нитями), что при использовании УН одинаковой линейной плотности и "синусоидальном" их расположении температура поверхности ($T_{пов}$, °С) зависит от расстояния между витками нити h , мм, и эта зависимость имеет логарифмический характер и описывается уравнением:

$$T_{пов} = -9,48 \ln(h) + 59,76. \quad (1)$$

Выявленная закономерность позволяет управлять процессом проектирования МЭТМ с учетом назначения и требований потребителя. Увеличение напряжения от 12 до 24 В обеспечивает повышение температуры поверхности МЭТМ лишь на 2...4°C.

В качестве источника питания электронагреваемого слоя МЭТМ можно использо-

вать низковольтные источники постоянного тока, например, малогабаритный аккумулятор Li-PO (3S) массой 165 г, емкостью – 2200 мА/ч, с безопасным рабочим напряжением 12 В и работой в нескольких температурных режимах, что позволяет пользователю сохранять свободу перемещения. Кроме того, возможно использование в качестве источников электропитания как автономных, так и бортовых сетей электропитания автомобилей, самолетов, кораблей и других транспортных средств. Одежда из МЭТМ реагирует на команду владельца – достаточно нажать кнопку, и изделие в течение 60 с нагреется до выбранной температуры 28...45°C.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный способ получения МЭТМ достаточно прост, не требует больших площадей и может быть организован как на текстильном, так и на швейном производстве.

2. Выявленная взаимосвязь структуры и свойств позволяет управлять процессом проектирования многослойных электропроводящих текстильных материалов с учетом их назначения и требований потребителя и выпускать обогревающие полотна с регулируемым диапазоном температур 28...45°C, разной ширины 20...60 см и поверхностной плотностью 140...250 г/м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульвачева Л.А., Бешшапошникова В.И., Жагринина И.Н., Кирсанова Е.А., Змеева Е.Д., Некрасова Н.В. Анализ ассортимента многослойных текстильных материалов и разработка их классификации // Дизайн и технологии. – 2015, № 44(86). С. 71...78.
2. Патент 2334373 RU МПК H05B 3/14. Способ получения нагревательного элемента / Иванова И.В., Юрьев И.С. // Заявка 2007109561/09, от 16.03.2007, Оpubл. 20.09.2008, Бюл. № 26.
3. Textiles for Protection. By R A Scott. Oxford. Woodhead Publishing Limited, CRC Press. – 2010.
4. Патент 2354766 RU МПК D03D 15/00. Токпроводящая ткань / Сафьянников Н.М., Буренева О.И., Волкова И.В., Мальгунова Н.А. // Заявка 2006108024/12, от 14.03.2006, Оpubл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
5. Патент 2505256 RU МПК A41D13/00, D03D15/00, C23C14/35. Способ получения электро-

проводящего текстильного материала / Горберг Б.Л., Иванов А.А., Стегнин В.А., Титов В.А., Молоков В.Л., Мамонтов О.В. // Заявлено 11.09.2011; Оpubл.27.01.2014, Бюл. №3.

6. Патент 2079584 RU МПК D01F8/00. Электропроводящее бикомпонентное волокно / Казаков М.Е., Трушников А.М., Тарасова Е.П., Мараховская М.Л. // Заявлено 15.09.1994, Оpubл. 20.05.1997.

7. Патент 11484 ВУ МПК: D03D11/00, H05B3/34. Многослойный электропроводящий материал / Замостоцкий Е.Г., Шаркова М.Ф., Скобова Н.В., Коган А.Г., Смелков Д.В. // Заявка 20070196 от 26.02.2007, Оpubл. 30.10.2008.

8. Патент 2506870 RU МПК A41D13/00. Структурированный терморегулирующий материал / Блэкфорд Вуди (US) // Заявка US2010/034124 от 07.05.2010; Оpubл. WO 2010/129923 от 11.11.2010 и RU Заявка 201148764/12 от 07.05.2010; Оpubл. RU 20.02.2014, Бюл. №5.

9. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды. – М., 2011.

10. Belen Zalba, Jose M. Marin, Luisa F. Cabeza, B. Zalba et al. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications / Belen Zalba, // Applied Thermal Engineering. – 23, 2003. P. 251...283.

11. Phase Change Materials / Alltec Protection Systems (P) Ltd. – 09, 2007.

12. Textiles for Protection. By R A Scott. Oxford. Woodhead Publishing Limited, CRC Press. – 2010.

13. Military textiles. Edited by E.Wilusz, US Army Natick Soldier Center, USA. – 2008.

14. Кричевский Г.Е. Волокна прошлого, настоящего и будущего. 27.01.2012. Портал НОРГ.

15. VIAFIL® - искусственное текстурированное волокно <http://www.supernogki.ru/article.php?idA=20>

16. Military textiles. Edited by E.Wilusz, US Army Natick Soldier Center, USA. – 2008.

17. Бешшапошникова В.И., Жилина Е.В., Гускина Н.Е., Полушенко И.Г. Прокладочный материал для легкой одежды // Швейная промышленность. – 2006, №1. С. 22...25.

18. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. – М.: "САЙНС-ПРЕСС", 2007.

19. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред. – М.: Наука, 1975.

REFERENCES

1. Ul'vacheva L.A., Besshaposhnikova V.I., Zhagrina I.N., Kirsanova E.A., Zmееva E.D., Nekrasova N.V. Analiz assortimenta mnogoslujnyh tekstil'nyh materialov i razrabotka ih klassifikacii // Dizajn i tehnologii. – 2015, № 44(86). S. 71...78.
2. Patent 2334373 RU МПК H05B 3/14. Sposob poluchenija nagrevatel'nogo jelementa / Ivanova I.V.,

Jur'ev I.S. // Zayavka 2007109561/09, ot 16.03.2007, Opubl. 20.09.2008 Bjul, № 26.

3. Textiles for Protection. By R A Scott. Oxford. Woodhead Publishing Limited, CRC Press. – 2010.

4. Patent 2354766 RU MPK D03D 15/00. Tokoprovodjashhaja tkan' / Saf'jannikov N.M., Bureneva O.I., Volkova I.V., Mal'gunova N.A. // Zayavka 2006108024/12, ot 14.03.2006, Opubl. 10.05.2009, Bjul. № 13.

5. Patent 2505256 RU MPK A41D13/00, D03D15/00, C23C14/35. Sposob poluchenija jelektrprovodjashhego tekstil'nogo materiala / Gorberg B.L., Ivanov A.A., Stegnin V.A., Titov V.A., Molokov V.L., Mamontov O.V. // Zajavleno 11.09.2011; Opubl.27.01.2014, Bjul. №3.

6. Patent 2079584 RU MPK D01F8/00. Jelektroprovodjashhee bikomponentnoe volokno / Kazakov M.E., Trushnikov A.M., Tarasova E.P., Marahovskaja M.L. // Zajavleno 15.09.1994, Opubl. 20.05.1997.

7. Patent 11484 BY MPK: D03D11/00, H05B3/34. Mnogoslojnyj jelektrprovodjashhij material / Zamostockij E.G., Sharkova M.F., Skobova N.V., Kogan A.G., Smelkov D.V. // Zayavka 20070196 ot 26.02.2007, Opubl. 30.10.2008.

8. Patent 2506870 RU MPK A41D13/00. Strukturirovannyj termoregulirujushhij material / Bljeford Vudi (US) // Zayavka US2010/034124 ot 07.05.2010; Opubl. WO 2010/129923 ot 11.11.2010 i RU Zayavka 201148764/12 ot 07.05.2010; Opubl. RU 20.02.2014, Bjul. № 5.

9. Krichevskij G.E. Nano-, bio-, himicheskie tehnologii i proizvodstvo novogo pokolenija volokon, tekstilja i odezhdy. – M., 2011.

10. Belen Zalba, Jose M. Marin, Luisa F. Cabeza, B. Zalba et al. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications / Belen Zalba, // Applied Thermal Engineering. – 23, 2003. P. 251...283.

11. Phase Change Materials / Alltec Protection Systems (P) Ltd. – 09, 2007.

12. Textiles for Protection. By R A Scott. Oxford. Woodhead Publishing Limited, CRC Press. – 2010.

13. Military textiles. Edited by E.Wilusz, US Army Natick Soldier Center, USA. – 2008.

14. Krichevskij G.E. Volokna proshlogo, nastojashhego i budushhego. 27.01.2012. Portal NORG.

15. VIAFIL® - iskusstvennoe teksturovanoe volokno <http://www.supernogki.ru/article.php?idA=20>

16. Military textiles. Edited by E.Wilusz, US Army Natick Soldier Center, USA. – 2008.

17. Besshaposchnikova V.I., Zhilina E.V., Guskina N.E., Polushenko I.G. Prokladochnyj material dlja legkoj odezhdy // Shvejnjaja promyshlennost'. – 2006, №1. S. 22...25.

18. Meleshko A.I., Polovnikov S.P. Uglerod, uglerodnye volokna, uglerodnye kompozity – M.: "SAJNS-PRESS", 2007.

19. Shklovskij B.I., Jefros A.L. Teorija protekanija i provodimost' sil'no neodnorodnyh sred. – M.: Nauka, 1975.

Рекомендована кафедрой материаловедения.
Поступила 21.12.15.