

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/07TLKL419.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Цогоев И.Х., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Голованов Д.Н., Тюрин И.Н., Белгородский В.С.  
Токопроводящие контактные дорожки для проектирования умной одежды с биометрическими функциями // Научный журнал «Костюмология», 2019 №4, <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL419.pdf> (доступ свободный).  
Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Tsogoev I.Kh., Andreeva E.G., Getmantseva V.V., Golovanov D.N., Tyurin I.N., Belgorodsky V.S. (2019). Investigation of ink tracks conductivity for design of flexible printed circuits on textile substrate. *Journal of Clothing Science*, [online] 4(4). Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL419.pdf> (in Russian)

**УДК 677.07.004.12**

**ГРНТИ 64.29.81**

**Цогоев Игорь Харитонович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия  
Проректор  
Кандидат экономических наук  
E-mail: [iniruyt@gmail.com](mailto:iniruyt@gmail.com)

**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](mailto: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](mailto:getmantseva@inbox.ru)

**Голованов Дмитрий Николаевич**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия  
Директор структурного подразделения университета  
E-mail: [iniruyt@gmail.com](mailto:iniruyt@gmail.com)

**Тюрин Игорь Николаевич**

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

**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](mailto:rector@rguk.ru)

## Токопроводящие контактные дорожки для проектирования умной одежды с биометрическими функциями

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования проводимости контактных дорожек, полученных из токопроводящей краски, содержащей графитовый порошок, нанесенных на текстильную подложку методом покрытия. Для исследования проводимости использован метод четырехточечной пробы. Исследование показало, что образцы со сложной геометрией поверхности обладают крайне нестабильными результатами. Установлено, что для проектирования «умной» одежды, включающей гибкие печатные платы, целесообразно использовать ткани полотняного переплетения, изготовленные из искусственных волокон. Проведено исследование изменения проводимости контактных дорожек в зависимости от количества стирок. При причине осыпаемости контактных дорожек из токопроводящих чернил, нанесенных методом покрытия, предложено дополнительно прокладывать швейных строчки из проводящих нитей для повышения срока эксплуатации гибкой печатной платы и повышения стабильности передачи сигнала. По итогам проведенного исследования предложены рекомендации по прокладке трассировок гибких печатных плат на текстильной основе. Рекомендовано нанесение токопроводящие чернила поверх нити, в случае необходимости достижения минимального сопротивления. При трафаретной печати контактных дорожек рекомендовано использование проводящих чернил с пониженной жесткостью в застывшем виде, для чего предложено использование термопластичного полиуретана в качестве пластификатора. Также предложено покрывать контактные дорожки изолирующими пластизольными чернилами во всех областях, не требующих емкостного считывания электрического сигнала. Полученные данные необходимы для формирования методики проектирования текстильных полотен, интегрирующих в структуре электропроводные элементы и разработки процесса трассировки – процедуры прокладки токоведущих дорожек при проектировании гибких печатных плат, внедряемых в конструкции «умной» одежды.

**Ключевые слова:** умная одежда; умные ткани; гибкие печатные платы; токопроводящая краска; проводимость

Взаимодействие электронных технологий и текстильной отрасли в условиях реализации программы «Цифровая экономика» приобретает особую актуальность [1]. Интеллектуальные текстильные материалы, а также созданная на их основе «умная» одежда обладают широким спектром потенциальных возможностей и функций [2–4].

В области проектирования умной одежды в последнее время наблюдается возрастающий интерес к гибким печатным платам, встроенным в конструкцию швейных изделий. Наиболее актуальные потенциальные области использования – это мониторинг физиологических параметров, таких как частота сердечных сокращений и дыхания, а также температура тела человека. Основным преимуществом использования высокофункциональных швейных изделий с биометрическими функциями, в отличие от предлагаемых рынком технологических решений в области носимой электроники, является постоянное обнаружение данных, поскольку встроенные в структуру текстильного материала гибкие печатные платы обеспечивают тесный и постоянный неинвазивный контакт с контролируемым объектом, не мешая обычной повседневной деятельности самого человека. Среди основных компонентов образующих интеллектуальную систему, можно выделить:

- датчики, которые определяют параметры и генерируют электрические сигналы низкой интенсивности;

- устройство разработки, необходимое для их обработки и/или беспроводной передачи;
- источники энергии;
- схемы, которые передают сигналы датчиков на компонент разработки, и источник питания, если требуется.

Электронные компоненты печатной платы должны быть расположены таким образом, чтобы они не мешали выполнению биомеханических движений человеком, а также не создавали тактильный дискомфорт при соприкосновении с поверхностью тела. Проводящие элементы гибких печатных плат при этом должны следовать напряжениям, которым подвергается ткань при эксплуатации (изгиб, сдвиг, растяжение), а также выдерживать стирку самого изделия.

Первоначально при разработке схем в основном использовались проводящие волокна. Теперь основное внимание уделяется так называемым эластичным проводящим чернилам, способным упруго поглощать механические напряжения, сохраняя при этом необходимый уровень проводимости. По сравнению проводящими текстильными нитями, печать дает большие преимущества с точки зрения экономической целесообразности и гибкости производства.

Трассировка проводящих чернил образует эластичную схему, включающую изолирующую и токопроводящую краски, и в совокупности с набором электронных компонентов представляет собой гибкую печатную плату на текстильной основе. Для печати на ткани может быть использована специальная токопроводящая краска, состоящая из полиуретанового эластомера с частицами серебра, отличающаяся очень низким электрическим сопротивлением в  $10\div 20$  Ом и температурой отвердевания  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Свойства материалов определяют внешнюю форму проектируемой одежды [6–8], при этом психофизиологическое восприятие человеком используемых материалов зависит от того, насколько комфортно в изготовленной из них одежде [9].

Одной из наиболее актуальных задач, требующих решения для практического внедрения этой технологии, является исследование электрической проводимости контактных дорожек, получаемых из токопроводящей краски, нанесенной на текстильную подложку методом покрытия. От свойств токопроводящей краски, наносимой на текстильные полотна, зависят особенности процесса трассировки – процедуры прокладки токоведущих дорожек при проектировании гибких печатных плат.

Электронные текстильные полотна отличаются легкостью, гибкостью, эластичностью, прочностью [7], устойчивостью к стиркам и другим видам чистки [8], экономичностью, экологичностью [9], а также меньшей заметностью по сравнению с их твердыми функциональными аналогами [3; 10].

Токопроводящие текстильные структуры создают как на уровне пряжи [11], так и на уровне ткани [12]. Электропроводящими компонентами могут быть волокна, пряжа, полотна, вышивка, и отделка, включая полимерное покрытие [13]. Электропроводящие нити могут вводить в структуру полотна в процессе его производства [8] или прикреплять к его поверхности с помощью вышивки или зигзагообразных строчек, обеспечивающих достаточную растяжимость полотен [11]. Преимуществом формирования электропроводимости на уровне полотна является легкость его интеграции в повседневную одежду [3; 7].

Для формирования электропроводимости в структуру текстиля вводят неорганические и органические токопроводящие компоненты в микроструктурированной и наноструктурированной формах [14], к которым следует отнести:

- проводящие ток полимеры; для покрытия текстиля используют органические токопроводящие легированные полимеры, отличающиеся экологической стабильностью во внешних условиях, такие как полиацетилен [15], полипиррол (PPy) [16], полианилин [17], поли-тиофен в форме поли-3,4-этилендиокси-тиофена [8; 12; 15]; при покрытии текстильных полотен фторополимером возникает нечувствительность к загрязнению, влажности или маслянистости кожи человека при прямом контакте с ней благодаря изоляции трибоэлектрического воздействия проводящих элементов [18];
- частицы и сплавы серебра [20], например, инкорпорируемые путем осаждения наночастиц серебра из растворов нитрата серебра различной концентрации [18] или серебряного покрытия уточных нитей в жаккардовой ткани [4];
- модифицированный углерод [2; 21], используемый для повышения проводимости текстиля путем покрытия шелка графеновыми наноструктурами [18] или осаждением дисперсии оксида графена на хлопчатобумажную ткань вакуумной фильтрацией [9];
- кремний в виде длинных нанопроволок [22] или силикагеля [23];
- медь [22; 24], в том числе в виде латуни [25];
- никель [19], в том числе в виде сверхэластичного сплава NiTi, выступающего сердечником текстильной нити и используемого для запоминания формы поверхности ткани и ее восстановления после сминания [25];
- алюминий [15];
- нержавеющую сталь [3; 18; 19; 22–24].

На первом этапе исследования изготовлена токопроводящая краска, в которой проводящим веществом выступил графитовый порошок, связующим – силикат натрия. Характеристики используемого графитового порошка следующие:

- молярная масса – 12,01 г/моль;
- температура плавления – от 3652 до 3697 °С;
- температура кипения – 4200 °С
- плотность – 1,8 г/см<sup>3</sup>;
- размер частиц – 53 мкм.

Состав токопроводящей краски:

- углерод – 98,6 %;
- сера – 0,05 %;
- азот – 0,05 %;
- летучие вещества – 0,3 %;
- вода – 0,3 %;
- зола – 0,8 %.

В качестве исследуемых образцов выбраны 5 видов тканей: плащевые ткани Oxford с мембранной пропиткой и без, используемые при пошиве верхней спортивной одежды; неопрен на трикотажной основе, используемый при пошиве спортивных бюстгалтеров; сетка, используемая в качестве сетчатых вставок в спортивной одежде второго слоя, и хлопковая ткань сложного переплетения. Выбранные образцы имеют следующие характеристики:

- образец O1 – плащевая ткань Oxford с мембранной пропиткой, волокнистый состав – 100 % ПЭ;
- образец O2 – плащевая ткань Oxford, волокнистый состав – 100 % ПЭ;
- образец O3 – хлопок пике, волокнистый состав – 97 % ХБ 3 % ЭЛ;
- образец O4 – неопрен, волокнистый состав – 47 % вискоза 50 % ПЭ 3 % ЭЛ;
- образец O5 – сетка, волокнистый состав – 50 % ПА 50 % ПЭ.

Для выбранных к исследованию образцов определены их структурные характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Структурные характеристики образцов

Наименование показателя	Образец				
	O1	O2	O3	O4	O5
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	128,5	109,1	142,4	146,5	107,4
Линейная плотность нитей основы, текс	9,3	7,7	13,5	13,2	6,4
Линейная плотность нитей утка, текс	11,2	9,4	16,8	14,4	9,8
Число нитей основы на 100 мм ткани	140	135	250	-	80
Число нитей утка на 100 мм ткани	130	125	220	-	140
Число петельных рядов на 100 мм, шт.	-	-	-	150	-
Число петельных столбиков на 100 мм, шт.	-	-	-	120	-
Толщина ткани b, мм	0,382	0,245	0,421	0,752	0,354

Далее методом покрытия на исследуемые образцы текстильных материалов через трафаретную основу нанесена токопроводящая краска в виде контактных дорожек толщиной 5 и 10 мм. Полученные контактные дорожки шириной 8 мм на примере образца O5 с размерами 5x5 см представлены на рис. 1.

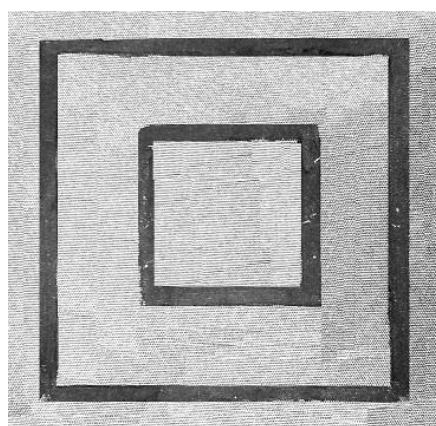


Рисунок 1. Контактные дорожки, нанесенные на образец текстильного материала

На следующем этапе проведены измерения электрического сопротивления гибких контактных дорожек исследуемых образцов с помощью метода четырехточечной пробы. В качестве средства измерения выбран мультиметр СЕМ DT-9969 (Россия). Сопротивление плоского образца может быть определено по следующей формуле:



$$R_S = \rho \frac{L}{W \times \tau} \quad (1)$$

где  $R_S$  – сопротивление плоского образца,  $\rho$  – удельное сопротивление материала,  $L$  – длина образца,  $W$  – ширина образца,  $\tau$  – толщина слоя.

Проводимость исследуемых образцов измеряли по двум направлениям: вдоль (O) и поперек (Y) полотна на изнаночной стороне. В некоторых случаях появляется необходимость нанесения гибких печатных плат не на изнаночную сторону (для визуального сокрытия), а на лицевую для минимизации неприятных ощущений от трения электронных компонентов (микропроцессоров, датчиков), в случае разработки «умной» одежды прилегающей или плотнооблегающей формы (при этом на лицевой стороне гибкие печатные платы скрываются дополнительными конструктивно-декоративными элементами). В связи с этим проведено дополнительное исследование проводимости токопроводящих дорожек, нанесенных на лицевую сторону образцов. Полученные данные исследования представлены в табл. 2.

**Таблица 2**

**Сопротивление токопроводящих дорожек исследуемых текстильных образцах при различной ширине контактных дорожек**

Направление полотна	Образец	Вид стороны				
		Изнаночная		Лицевая		
		Кол-во слоев N, шт.				
		Ширина дорожки, мм				
		4	8		4	
		Размеры образца, см				
		5x5	10x10	5x5	10x10	10x10
O	O1	22,3	21,8	16,5	16,7	20,9
	O2	24,5	22,4	17,9	17,2	21,5
	O3	11,7	12,6	7,4	8,1	11,7
	O4	9,4	9,8	6,1	6,2	10,1
	O5	7,8	8,2	5,5	5,8	8,7
Y	O1	21,7	24,9	16,1	16,4	22,1
	O2	23,5	25,7	17,2	17,8	24,4
	O3	8,1	8,7	5,4	4,9	8,4
	O4	9,5	9,2	6,3	6,4	10,9
	O5	10,1	10,5	7,7	7,9	9,2

Наибольшей проводимостью обладают образцы O4, O5, наименьшей образцы O1 и O2. Вместе с тем исследование показало, что образцы со сложной геометрией поверхности, а именно: ткань сложного переплетения пике и сетчатое полотно обладают крайне нестабильными результатами. Во многих точках измерения отсутствовали показатели сопротивления, причиной чему стало нарушение однородности токопроводящей области.

Плащевые ткани, в особенности с наличием мембранной пропитки, показали довольно устойчивые результаты измерений сопротивления и являются наиболее подходящими для проектирования гибких печатных плат в «умной» одежде. Так как предпочтительным в электрической схеме является диапазон сопротивлений в 10÷12 Ом, то процесс снижения сопротивления, и таким образом увеличения проводимости, предлагается осуществлять за счет нанесения большего количества слоев, что является объектом дальнейших исследований. Таким образом, решено провести исследование проводимости контактных дорожек в зависимости от количества слоев. Слои наносили последовательно, измерения проводились после полного высыхания токопроводящих чернил. Результаты полученных измерений представлены в табл. 3 (где ПР – петельные ряды, ПС – петельные столбики).

Таблица 3

Зависимость сопротивления контактных дорожек от количества слоев

Образец	Кол-во слоев	Направление измерения	10x10		5x5	
			R, Ом	$\Delta R/R$ , %	R, Ом	$\Delta R$ , Ом
O2	1	ПР	22,4	8,25	24,5	6,54
		ПС	25,7	7,14	23,5	7,22
	2	ПР	18,82	6,15	17,88	1,90
		ПС	16,50	2,90	17,48	5,03
	3	ПР	4,88	7,79	1,89	4,76
		ПС	5,13	7,41	2,62	12,21
	4	ПР	4,33	5,31	1,31	6,87
		ПС	1,79	2,80	2,10	9,52
	5	ПР	1,09	10,00	1,23	7,31
		ПС	1,09	10,00	1,22	5,74
	6	ПР	2,33	20,6	1,29	12,4
		ПС	2,55	13,33	2,15	8,37
O1	1	ПР	21,8	5,82	22,3	4,87
		ПС	24,9	6,12	21,7	5,24
	2	ПР	14,44	22,30	16,11	14,21
		ПС	15,32	28,53	17,40	11,34
	3	ПР	3,13	16,50	2,76	12,72
		ПС	2,61	8,12	1,86	17,45
	4	ПР	1,22	20,52	0,79	24,80
		ПС	1,11	22,71	1,07	18,73
	5	ПР	1,43	38,42	1,68	28,64
		ПС	1,72	27,18	1,12	25,87
	6	ПР	1,59	32,10	1,10	31,28
		ПС	1,39	45,50	1,10	42,21

Согласно полученным данным значения проводимости токопроводящих дорожек с увеличением количества слоев резко возрастает после достижения количества слоев 3 и более. Далее нанесение дополнительных слоев токопроводящих чернил не приносит значительного результата.

Одной из наиболее важных характеристик гибких печатных плат является их способность к устойчивости заданных параметров под воздействием стирки. В качестве сравнительной характеристики предложено использовать проводимость контактных дорожек после проведения стирок. В процессе проведения разведывательного эксперимента установлена осыпаемость контактных дорожек, поэтому предложено поверх самих дорожек дополнительно прокладывать швейные строчки из токопроводящих нитей с покрытием из частиц серебра (рис. 2).

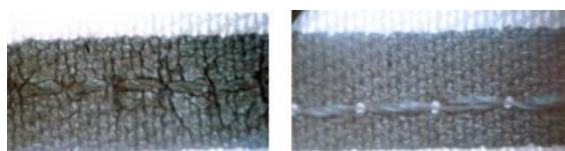


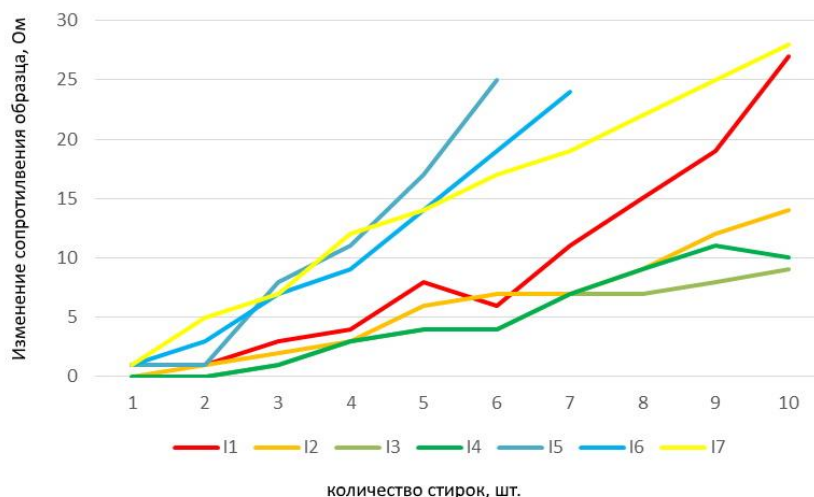
Рисунок 2. Образцы контактных дорожек. Схемы «трассировка из проводящих чернил + строчка в один ряд» и «трассировка из проводящих чернил + двойная строчка»

Таким образом установлены 7 условий испытаний:

- строчка в один ряд (I1);
- двойная строчка (I2);
- трассировка из проводящих чернил + строчка в один ряд (I3);

- трассировка из проводящих чернил + двойная строчка (I4);
- проводящие чернила 1 слой (I5);
- проводящие чернила 2 слоя (I6);
- проводящие чернила 3 слоя (I7).

Проводимость образцов измерения после каждого из 10 циклов стирки. На рис. 3 представлен график зависимости проводимости от количества стирок образцов.



**Рисунок 3.** График изменения проводимости контактных дорожек в зависимости от количества стирок

По итогам анализа полученных данных, установлена низкая стабильность результатов контактных дорожек с нанесенными одним/двумя слоями проводящих чернил. В 5–6 цикле стирки наблюдалось либо разрушение контактной дорожки, либо слишком высокие значения сопротивления. Для предотвращения разрушения дорожек проведены эксперименты с пластизольными чернилами. Установлено, что пластизоль защищает проводящие чернила и предотвращает увеличение сопротивления, которое мы обнаруживаем с непокрытыми проводящими чернилами. Кроме того, контактные дорожки с проложенными швейными строчками из токопроводящих ниток, кажется намного более надежным, чем другие альтернативы.

### Выводы

Проведено исследование электрической проводимости контактных дорожек, нанесенных на образцы текстильных материалов. Установлено, что для реализации процесса проектирования гибких печатных плат на текстильной основе наиболее важным фактором является стабильный характер их проводимости, обеспечивающий более надежные характеристики получаемого материала. Проведено исследование изменения проводимости контактных дорожек в зависимости от количества стирок. При причине осыпаемости контактных дорожек из токопроводящих чернил, нанесенных методом покрытия, предложено дополнительно прокладывать швейных строчки из проводящих нитей для повышения срока эксплуатации гибкой печатной платы и повышения стабильности передачи сигнала. По итогам проведенного исследования предложены рекомендации по прокладке трассировок гибких печатных плат на текстильной основе. Рекомендовано нанесение токопроводящих чернил поверх нити, в случае необходимости достижения минимального сопротивления. При



трафаретной печати контактных дорожек рекомендовано использование проводящих чернил с пониженной жесткостью в застывшем виде, для чего предложено использование термопластичного полиуретана. Также предложено покрывать контактные дорожки изолирующими пластизольными чернилами во всех областях, не требующих емкостного считывания электрического сигнала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Путин В.В. Послание Федеральному Собранию Российской Федерации // Вестник Российской нации. 2018. № 2 (60). С. 11–18.
2. Tyurin, I.N., Getmantseva, V.V., Andreeva E.G. Fibre Chem (2018) DOI: 10.1007/s10692-018-9918-y.
3. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Van der Pauw method for measuring the electrical conductivity of smart textiles // Fibre Chemistry. 2019. Т. 51. № 2. С. 139–146.
4. 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.
5. 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.
6. Kazani I., De Mey G. e.a. Electrical conductive textile through screen-printing // Text. Res. J. 2013. V.83. No. 15. – P. 1587–1593.
7. Atalay O. Textile-based, interdigital, capacitive, soft-strain sensor for wearable applications // Materials. 2018.V.11. No. 5. – P. 768.
8. Achilli A., Bonfiglio A., Pani D. Validation of polymer-based screen-printed textile electrodes for surface EMG detection // IEEE Sensors J. 2018. V. 18. No. 10. – P. 4097–4107.
9. Tyurin I.N., Getmantseva V.V. e.a. «Research of design features of compression sportswear» in Proc. World Textile Conference – 18th AUTEX Conference, 2018, Istanbul, Turkey.
10. Stoppa M., Chiolerio A. Wearable electronics and smart textiles: a critical review // Sensors. 2014. V.14. No. 7. – P. 11957–11992.
11. Bashir T., Ali M. e.a. Stretch sensing properties of conductive knitted structures of PEDOT-coated viscose and polyester yarns // Text. Res. J. 2013. V.84. No. 3. – P. 323–334.
12. Cho G., Lee S., Cho J. Review and reappraisal of smart clothing // Intern. J. Human-Computer Interaction. 2009. V.25. No. 6. – P. 582–617.
13. Rogers J.A., Someya T., Huang Y. Materials and mechanics for stretchable electronics // Science. 2010. V.327. No. 5973. – P. 1603–1607.
14. Xue P., Tao X. e.a. In book: Wearable Electronics and Photonics. – Cambridge: Woodhead Publishing; Boca Raton: CRC Press, 2005. – P. 81–104.

15. Lu M., Xie R. e.a. Chiral induced synthesis of helical polypyrrole (PPy) nanostructures: a lightweight and high-performance material against electromagnetic pollution // *J. Appl. Polymer Sci.* 2016. V.133. No. 32. – P. 43601.
16. Petersen P., Helmer R. e.a. Development and characterization of electrically conductive polyaniline coated fabrics // *Text. Res. J.* 2011. V.81. No. 13. – 1395–1404.
17. Maráková N., Humpolíček P. e.a. Antimicrobial activity and cytotoxicity of cotton fabric coated with conducting polymers, polyaniline or polypyrrole, and with deposited silver nanoparticles // *Appl. Surface Sci.* 2017. No. 396. – P. 169–176.
18. M., Andrew T.L. Transforming commercial textiles and threads into sewable and weavable electric heaters // *Fibers.* 2018.V.6. No. 2. – P. 41.
19. Atalay O., Tuncay A. e.a. Piezofilm yarn sensor-integrated knitted fabric for healthcare applications // *J. Ind. Text* 2017. V.46. No. 5. – P. 1212–1240.
20. Cho G., Jeong K. e.a. Carbon nanotube sensors for gas and organic vapor detection // *IEEE Sensors J.* 2011. V.11. No. 12. – P. 3183–3193.
21. Mazzoldi A., De Rossi D. e.a. Strain sensing fabrics for wearable kinaesthetic systems // *Autex Res J.* 2002. V.2. No. 4. – P. 199–204.
22. Zhang B.C., Wang H. e.a. Slow and fast absorption saturation of black phosphorus: experiment and modelling // *Nanoscale.* 2016. V.28. No. 8 (4). – P. 2123–2128.
23. Zhu F., Hu J. e.a. Smart polymer fibers with shape memory effect // *Fibers a. Polymers* 2017. V.18. No. 2. – P. 369–375.
24. Ramachandran T., Vigneswaran C. Design and development of copper core conductive fabrics for smart textiles // *J. Ind. Text* 2009. V.39. No. 1. – P. 81–93.
25. Rattfält L., Lindén M. e.a. Smartware electrodes for ECG measurements // *Medical a. Biological Eng. A. Computing.* 2007. V. 45. No. 12. – P. 1251–1257.

**Tsogoev Igor Kharitonovich**

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

**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

**Golovanov Dmitry Nikolaevich**

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

**Tyurin Igor Nikolaevich**

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

**Belgorodsky Valery Savel'evich**

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

## **Investigation of ink tracks conductivity for design of flexible printed circuits on textile substrate**

**Abstract.** The article presents the results of a study of the conductivity of contact tracks obtained from conductive paints containing graphite powder deposited on a textile substrate by the coating method. To study the conductivity, the four-point test method was used. The study showed that samples with complex surface geometry have extremely unstable results. It has been established that for the design of “smart” clothing, including flexible printed circuit boards, it is advisable to use plain weave fabrics made from artificial fibers. A study was made of the change in the conductivity of contact paths depending on the number of washes. For the reason that the contact tracks from conductive inks deposited by the coating method are crumbled, it is proposed to additionally lay sewing stitches from conductive threads to increase the life of the flexible printed circuit board and increase the stability of signal transmission. Based on the results of the study, recommendations are proposed for laying traces of flexible printed circuit boards on a textile basis. It is recommended to apply conductive ink on top of the filament, if necessary, to achieve a minimum resistance. When screen printing contact tracks, it is recommended to use conductive inks with reduced stiffness in a frozen form, for which it is proposed to use thermoplastic polyurethane as a plasticizer. It is also proposed to cover the contact paths with insulating plastisol ink in all areas that do not require capacitive reading of the electrical signal. The data obtained are necessary for the formation of a textile fabric design methodology that integrates electrically conductive elements in the structure and the development of the tracing process – the procedures for laying current-carrying tracks in the design of flexible printed circuit boards that are introduced into the design of smart clothes.

**Keywords:** smart clothes; e-textile; flexible printed circuit boards; conductive ink; conductivity

## REFERENCES

1. Putin V.V. Message to the Federal Assembly of the Russian Federation // Bulletin of the Russian nation. 2018. No. 2 (60). S. 11–18.
2. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Fiber Chem (2018) DOI: 10.1007/s10692-018-9918.
3. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The van der Pauw method for measuring the electrical conductivity of smart textiles // Fiber Chemistry. 2019. Vol. 51. No. 2. P. 139–146.
4. 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. – P. 48–54.
5. 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.
6. Kazan I., De May G. e.a. Electrically conductive textiles through screen printing // Text. Residence J. 2013. V.83. No. 15. – S. 1587–1593.
7. Atalay O. On textile, interdigital, capacitive, soft deformation sensor for wearable applications // Materials. 2018.V.11. No. 5. – S. 768.
8. Akhilli A., Bonfilio A., Pani D. Validation of textile electrodes with screen printing on a polymer basis for the detection of surface EMG // IEEE Sensors J. 2018. V. 18. No. 10. – P. 4097–4107.
9. Tyurin I.N., Getmantseva V.V. e.a. "Study of the design features of compression sportswear" in the textbook. World Textile Conference – 18th Autex Conference, 2018, Istanbul, Turkey.
10. Stoppa M., Cholerio A. Wearable electronics and smart textiles: a critical review // Sensors. 2014. V.14. No. 7. – S. 11957–11992.
11. Bashir T., Ali M. e.a. Tensile-sensitive properties of conductive knitted structures of viscose and polyester yarns with PEDOT coating // Text. Residence J. 2013. V.84. No. 3. – S. 323–334.
12. Cho G., Lee S., Cho J. Review and revaluation of smart clothes // Intern. J. Human-computer interaction. 2009. V.25. No. 6. – S.582–617.
13. Rogers Yu.A., Someya T., Juan Yu. Materials and mechanics for tensile electronics // Science. 2010. V.327. No. 5973. – S. 1603–1607.
14. Xue P., Tao H. e.a. In the book: Wearable Electronics and Photonics. – Cambridge: Wood-Head; Boca Raton: CRC Press, 2005. – S. 81–104.
15. Lou M., Xie R. e.a. Chiral-Induced Synthesis of Spiral Polypyrroles (PPy) Nanostructures: Lightweight and High-Performance Anti-Electromagnetic Contamination Material // J. Appl. Polymer Sci. 2016. V.133. No. 32. – S. 43601.
16. Petersen P., Helmer R. e.a. Development and characterization of electrically conductive fabrics with polyaniline coating // Text. Residence J. 2011. V.81. No. 13. – 1395–1404.
17. Marakova N., Gumpolichek P. e.a. Antimicrobial activity and cytotoxicity of cotton fabric coated with conductive polymers, polyaniline or polypyrrole and supported silver nanoparticles // App. Surface Sci. 2017. No. 396. – S. 169–176.

18. M., Andrei T.L. Transformation of commercial textiles and threads into sewer and weaving electric heaters // *Fibers*. 2018.V.6. No. 2. – P. 41.
19. Atalay O., Tunkay A. e.a. A knitted fabric integrated with a yarn sensor for use in healthcare // *J. Ind. Text* 2017. V.46. No. 5. – S. 1212–1240.
20. Cho G., Chong K. e.a. Carbon nanotube sensors for detecting gases and organic vapors // *IEEE Sensors J*. 2011. V.11. No. 12. – S. 3183–3193.
21. Mazzoldi A., De Rossi D. e.a. Deformation-sensitive tissues for wearable kinesthetic systems // *Autex Res J*. 2002. V.2. No. 4. – S. 199–204.
22. Zhang B.S., Wang H. e.a. Slow and fast absorption of black phosphorus saturation: experiment and modeling // *Nano-size*. 2016. V.28. No. 8 (4). – S. 2123–2128.
23. Zhu F., Hu J. e.a. Smart polymer fibers with shape memory effect // *Fiber a. Polymers* 2017. V.18. No. 2. – S. 369–375.
24. Ramachandran T., Vinjesvaran S. Design and development of conductive fabrics with a copper core for smart textiles // *J. Ind. Text* 2009. V.39. No. 1. – P. 81–93.
25. Rattfält L., Lindén M. e.a. Intelligent electrodes for ECG measurement // *Medical a. Biological English A. Computational*. 2007. V. 45. No. 12. – P. 1251–1257.