

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ НИТЯМИ И ПРЯЖЕЙ

INVESTIGATION OF ELECTRO-MAGNETIC PROPERTIES OF KNITTED FABRICS WITH COMBINED ELECTRO-CONDUCTIVE YARNS

П.А. Костин^{1*}, Е.Г. Замостоцкий²

¹ Витебский государственный технологический университет

² Международный университет «МИТСО»

УДК 677.017:514.7

P. Kostsin^{1*}, Y. Zamostotskiy²

¹ Vitebsk State Technological University

² International University «MITSO»

РЕФЕРАТ

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩАЯ ПРЯЖА, ЭКРАНИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ТРИКОТАЖНЫЕ ПОЛОТНА, КОМБИНИРОВАННАЯ НИТЬ, ПРЯДЕНИЕ, КРУЧЕНИЕ

Научная статья посвящена исследованию электромагнитных свойств трикотажных полотен специального назначения с комбинированными электропроводящими нитями и пряжей. В статье приведены основные показатели физико-механических и электрических свойств электропроводящих нитей, пряжи и трикотажных полотен специального назначения. Описаны результаты эксперимента по определению влияния различных переплетений и физико-механических свойств трикотажных полотен на электромагнитные свойства. Установлено, что для достижения максимальной экранирующей способности при частоте 2 ГГц наиболее целесообразно вырабатывать трикотажное полотно с переплетением «кулирная гладь» с максимальной плотностью пряжи.

ABSTRACT

ELECTRO-CONDUCTIVE YARN, SCREENING, ELECTRO-MAGNETIC FIELD, KNITTED FABRICS, COMBINED YARNS, SPINNING, TWISTING

The article is devoted to the investigation of electromagnetic properties of knitted fabrics for special purposes with the combined electro-conductive yarns. In the article main indices of physical-mechanical and conductive properties of the conductive yarns and knitted fabrics for special purposes are described. The results of experiments, determining influence of different weaves and physical-mechanical properties of knitted fabrics on their electromagnetic properties are described. The optimal weave was found which allows reaching of maximal shielding effect by frequency 2GHz with the maximal yarn density.

Эксплуатационные показатели технических трикотажных полотен обусловлены их назначением. К таким показателям относятся водо- и воздухопроницаемость, электропроводность и электризуемость, термо-, свето- и устойчивость к химическим реагентам, прочность связи с покрытием, линейная усадка от воздействия температур, стабильность релаксационных свойств при работе в условиях нагрузок, не превыша-

ющих 10 % от разрывных [1]. К внешнему виду технических трикотажных полотен не предъявляют таких жестких требований, как к внешнему виду бытовых трикотажных полотен.

С появлением электрических и электронных устройств во всем мире защита от электромагнитных волн, излучаемых приборами, является одной из главных задач, которую необходимо решить. Среди различных предлагаемых ре-

* E-mail: vortex@bk.ru (P. Kostsin)

шений, текстильные изделия и основанные на тканях композиционные материалы получили наиболее широкое распространение из-за универсальности этих текстильных материалов [1]. Трикотажные материалы, содержащие металлизированные волокна, отличаются высокой эластичностью и ударостойкостью в условиях жесткой эксплуатации, что обеспечивается петлевой структурой волокна. Например, в США разработаны и применяются вибро- и ударопоглощающие детали на основе такого трикотажа. С их помощью производится защита электронных систем самолетов и вращающихся радарных антенн. Различные уплотняющие материалы (прокладки, виброизоляторы) можно использовать в ракетной технике [2]. Иногда металлизированные и металлические волокна комбинируют с асбестом, что резко повышает механические свойства. Кроме того, имеются образцы трикотажных полотен, предназначенные для защиты от электромагнитного излучения [3].

Целью данной работы является определение наилучших показателей трикотажных полотен с комбинированными электропроводящими нитями для экранирования электромагнитного излучения.

Основной источник электромагнитного излучения – это электрические сигналы, испускаемые различными приборами. Электромагнитное излучение испускают компоненты катушек индуктивности, цифровые устройства и высоковольтные провода, несущие большой переменный ток в энергетических частотах, которые способны к испусканию СВЧ волн, мобильные телефоны. Излучение в ультравысоком частотном диапазоне

– от 300 МГц до 3 ГГц – возникает при использовании мобильной связи. Операторы сотовой связи, которые работают в Республике Беларусь, используют диапазон частот 450, 900, 1800 МГц, кроме того, у нас появился 3G и 4G, который использует частоту чуть выше 2 ГГц. Для решения проблемы защиты от электромагнитных волн необходимо экранировать (отражать) эти виды излучений [3].

В УО «ВГТУ» разработаны две технологии получения комбинированных электропроводящих нитей, которые подходят для получения тканей и трикотажных изделий с экранирующим и антистатическим эффектом. Сырьевой состав используемых комбинированных электропроводящих нитей представлен в таблице 1. Физико-механические и электрофизические свойства полученных комбинированных электропроводящих нитей представлены в таблице 2.

В качестве исходного сырья для комбинированной электропроводящей нити под номером 1 (таблица 1) используется медная микропроволока диаметром 0,05 (линейная плотность 18 текс) и комплексные химические нити. Сущность первой технологии заключается в получении на первом переходе тростильно-крутильных машин двухкомпонентной нити с электропроводящим элементом, скрученных с правым направлением крутки. На втором этапе происходит скручивание образованного полуфабриката в обратном направлении (левом) с комплексной химической нитью для получения стабильной структуры нити [4]. Данный способ получения комбинированной электропроводящей нити позволяет за счет вывода металлической микропроволоки на

Таблица 1 – Процентное содержание компонентов комбинированных электропроводящих нитей

№ образца	1		3		4	
Компонент	Комбинированная электропроводящая нить <i>T = 55 текс</i>		Комбинированная электропроводящая нить <i>T = 44 текс</i>		Комбинированная электропроводящая нить <i>T = 60 текс</i>	
	текс	%	текс	%	текс	%
Медная микропроволока	18	32,7	18	40,9	18	30
Комплексная полиэфирная нить	34,6(5,2+29,4)	67,3	5,2	11,8	5,2	8,6
Хлопковое волокно	–	–	20,8	47,3	20	54,5

поверхность электропроводящей нити повысить электрофизические свойства комбинированной нити.

Для производства комбинированных электропроводящих нитей по второй технологии (образцы № 2 и № 3 таблица 1) в качестве исходного сырья используются хлопковые волокна и медная микропроволока диаметром 0,05 мм линейной плотности 18 текс в качестве электропроводящего компонента. Комбинированная электропроводящая нить формируется по кардной системе прядения хлопка с применением модернизированной пневмомеханической прядильной машины ППМ-120МС с полым ротором. Сущность технологии получения комбинированных электропроводящих нитей состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры вместе с дискретным потоком волокон подается с определенной постоянной скоростью медная микропроволока, которая обкручивает формируемую в камере пряжу. Полученная комбинированная электропроводящая нить выводится из камеры и наматывается на бобину [4].

На основе литературного анализа было установлено, что необходимый уровень экранирования электромагнитного излучения для использования в военных, электронных, бытовых и других отраслях составляет приблизительно от 90 до 99,99 %. Трикотажные полотна с такой

эффективностью экранирования были бы эффективным решением для защиты человека и электронных приборов от электромагнитного излучения и электромагнитных помех [5].

На имеющемся в УО «ВГТУ» оборудовании «ПВРК» и «ОЗГА» были получены 15 образцов трикотажных полотен с использованием комбинированных электропроводящих нитей (таблица 3). Были выбраны наиболее простые и часто используемые переплетения кулирная гладь, ластик 1+1 и полуфанг. Данные образцы трикотажных полотен проверялись на экранирующие и физико-механические свойства.

Для полученных образцов были установлены физико-механические характеристики, которыми должны обладать материалы для экранирования электромагнитных волн:

- низкая воздухопроницаемость, так как чем ниже воздухопроницаемость, тем плотнее петельная структура трикотажа, следовательно, полотно будет меньше пропускать электромагнитные волны;
- высокая прочность, так как данный трикотаж предполагается использовать в качестве чехла на мобильный телефон;
- наименьшая необратимая деформация, для того, чтобы при многократном использовании сохранял первоначальный вид и чтобы при снятии с телефона чехол имел красивый внешний

Таблица 2 – Физико-механические свойства комбинированных электропроводящих нитей различного способа формирования

Компонент	Комбинированная электропроводящая нить $T = 55$ текс	Комбинированная электропроводящая нить $T = 44$ текс	Комбинированная электропроводящая нить $T = 60$ текс
Абсолютная разрывная нагрузка P_n , сН	1700	580	760
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке $CV P_n$, %	7,5	4,8	5,5
Разрывное удлинение P_y , %	14-16	10-14	10-14
Коэффициент вариации по разрывному удлинению $CV P_y$, %	4,5	4,24	3,9
Электрическое сопротивление пряжи длиной 1 см $R_{1см}$, Ом	$1,2 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$

вид;

- достаточная растяжимость, чтобы чехол держался на мобильном телефоне и не спадал при эксплуатации.

Результаты испытаний трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Характеристика образцов трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей

Номер образца	Линейная плотность пряжи, текс	№ варианта пряжи	Наличие лайкры	Переплетение	Оборудование
1	44	2	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
2	44	2	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
3	44	2	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
4	60	3	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
5	60	3	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
6	44	2	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
7	44	2	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
8	60	3	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
9	60	3	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
10	44	2	Нет	Полуфанг	«ПВРК»
11	60	2	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
12	44	2	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
13	44	2	Нет	Кулирная гладь	«ОЗГА»
14	55	1	Да	Кулирная гладь	«ОЗГА»
15	55	1	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»

Таблица 4 – Результаты испытаний трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей

Номер образца	Плотность по вертикали	Плотность по горизонтали	Поверхностная плотность, г/м ²	Воздухопроницаемость дм ³ /м ² · с
1	70	50	181,14	4200±200
2	90	55	176,29	3500±200
3	95	90	361,00	920±70
4	120	54	166,56	3400±100
5	110	92	327,31	790±70
6	127	42	225,75	7700±100
7	185	86	611,15	690±70
8	164	44	241,32	3400±200
9	96	74	564,21	620±70
10	96	33	240,20	3400±200
11	140	102	405,79	770±60
12	110	100	357,50	780±20
13	110	56	226,32	2150±70
14	120	106	340,45	670±50
15	152	72	578,11	610±50

Проанализировав таблицу 4 в соответствии с приведенными выше характеристиками, определили, что наилучшими свойствами для экранирования обладают образцы 11, 12, 14, а наименее – 1, 2, 6.

Для проведения испытаний отражения электромагнитных излучений из трех образцов (11, 12 и 14) был отобран образец под номером 12 (рисунок 1), обладающий следующими характеристиками:

- сырье – комбинированная электропроводящая нить 44 текс пневмомеханического способа формирования + лайкра;
- переплетение – кулирная гладь;
- оборудование – «ОЗГА» кругловязальный автомат 8-го класса с диаметром цилиндра 1¾ дюйма.

Образец трикотажного полотна № 12 был исследован в сертифицированной лаборатории РУП «БелГИМ» на диапазонах частот от 1,2 до 11 ГГц на объемное удельное электрическое сопротивление.

Ослабление электромагнитного излучения, вносимое образцом трикотажного полотна D , дБ и σ , %, определялись в соответствии с формулами:

$$D = 10 \lg \frac{P_{изм}}{P_э}, \quad (1)$$

$$\sigma = 100 * \frac{P_э - P_{изм}}{P_э}, \quad (2)$$

где $P_{изм}$ – измеренная плотность потока энергии, мкВт/см²; $P_э$ – эталонная плотность потока энергии, мкВт/см²; σ – проводимость трикотажного полотна 1/Ом*см; $P_э$ – эталонный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт; $P_{изм}$ – измеренный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость экранирования электромагнитного излучения образцом трикотажа в % от частоты электромагнитных волн в ГГц.

В результате анализа зависимости экранирования электромагнитного излучения от частоты электромагнитных волн установлено, что образец одинаково хорошо экранирует электромагнитное излучение на частотах 1,2–4 ГГц разных диапазонов частот, не пропуская 94,27–98,79 % электромагнитных волн. Максимальное



Рисунок 1 – Фотография образца трикотажного полотна № 12

значение экранирования электромагнитного поля – 98,79 % показывает образец при частоте 2 ГГц. Минимальное значение экранирования электромагнитного поля показывает образец 45,66 % при частоте 11,5 ГГц.

Результаты измерения ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа, представлены в таблице 5.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажного полотна в дБ от частоты электромагнитных волн в ГГц.

Анализируя зависимость ослабления электромагнитного поля вносимого образцом трико-

тажа от частоты электромагнитных волн можно сказать, что образец трикотажного полотна существенно ослабляет электромагнитный поток на частотах от 1,2 до 4 ГГц. Максимальное ослабление электромагнитного потока 19,2 дБ образец показывает при частоте 2 ГГц. Минимальное ослабление электромагнитного потока 2,65 дБ образец показывает при частоте 11,5 ГГц.

Установлено, что исследуемый образец трикотажного полотна защищает от электромагнитного излучения, не пропуская 94,3–98,9 % излучения электромагнитных волн на диапазонах частот от 1,2 ГГц до 4 ГГц.

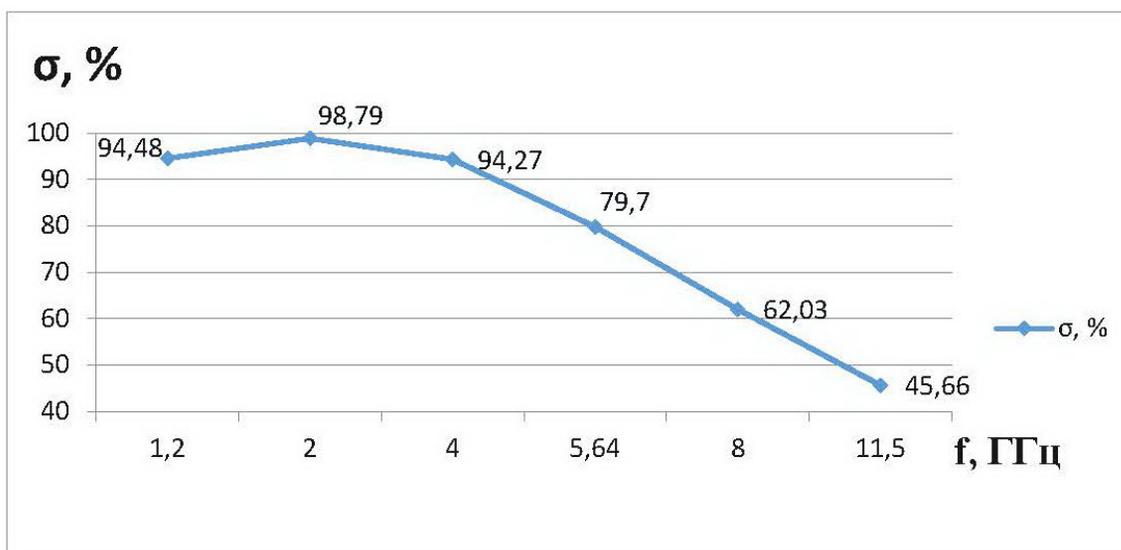


Рисунок 2 – Зависимость экранирования электромагнитного излучения образцом трикотажа в % от частоты электромагнитных волн в ГГц

Таблица 5 – Результаты измерения ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа

Частота, ГГц	Эталонное электромагнитное поле		Электромагнитное поле за образцом	
	Уровень мощности P_p , мкВт	Плотность потока энергии Π_p , мкВт/см ²	Уровень мощности $P_{изм}$, мкВт	Плотность потока энергии $P_{изм}$, мкВт/см ²
1,2	8860	33,18	489	1,83
2	7670	42,05	92,6	0,51
4	6460	48,03	370	2,75
5,64	467	8,65	94,8	1,76
8	1280	23,1	486	8,77
11,5	703	14,26	382	7,75

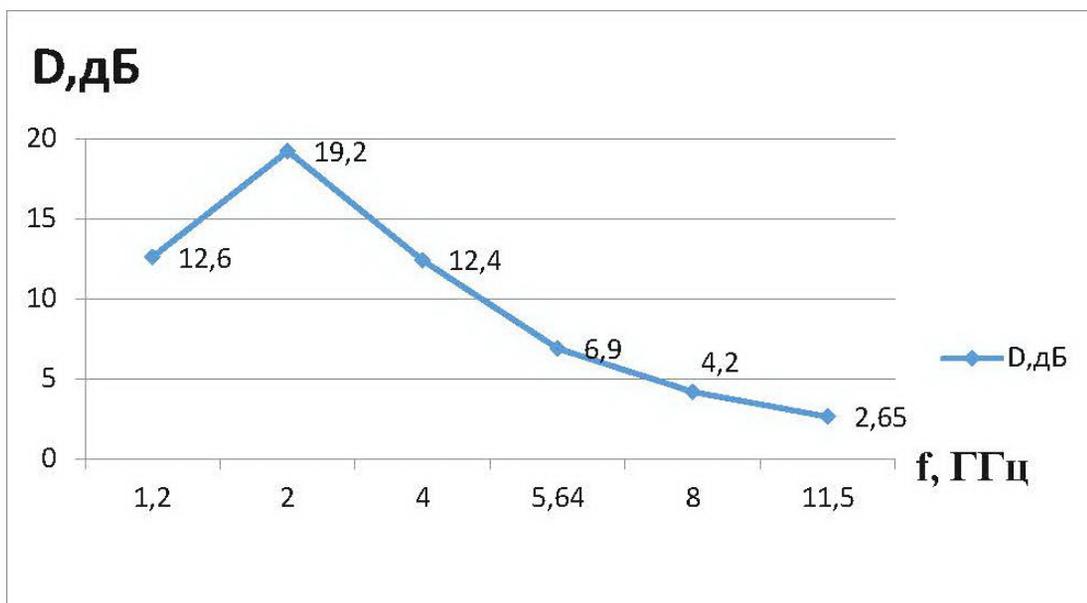


Рисунок 3 – Ослабление электромагнитного поля, вносимое образцом трикотажного полотна в Дб от частоты электромагнитных волн в ГГц

Таким образом, установлено, трикотажные полотна из комбинированных электропроводящих нитей обладают значительным экранирующим эффектом и чем плотнее располагаются в трикотажных полотнах электропроводящие нити, тем больше энергии электромагнитных волн отражается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cheng, K. B Cheng, T. W., Lee, K. C, Uieng, T. H. and Hsing, W. H. (2003), Effect of Yarn Constituent and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, Composites Part A 2003. 34(10): 971–978.
2. Трикотажный материал для изготовления защитной от электромагнитного излучения одежды [Электронный ресурс] / Патентный поиск. - Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/201/2012697.html> - Дата доступа 20.10.2017.

REFERENCES

1. Cheng, K. B Cheng, T. W., Lee, K. C, Uieng, T. H. and Hsing, W. H. (2003), Effect of Yarn Constituent and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, Composites Part A 2003. 34(10): 971–978.
2. Knitted material for the manufacture of protective clothing from electromagnetic radiation [electronic resource] [Trikotazhnyy material dlya izgotovleniya zaschitnoy ot elektromagnitnogo izlucheniya odezhdyy] [Electronnyj resurs] / Patentnyiy poisk. - Rezhim dostupa: <http://www.findpatent.ru/>

3. Ueng, T. H. and Cheng, K. B. (2001), Friction Core Spun Yarns for Electrical Properties of Woven Fabrics, *Composites Part A*. 32(10): 1492–1496.
4. Замостоцкий, Е. Г., Костин, П. А., Коган, А. Г. (2007), Технология получения комбинированных термостойких электропроводящих пряжи и нитей для тканей специального назначения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2011, № 20. С. 56–64.
5. Kostin, P. A., Dyagilev, A. S. & Kogan, A. G. (2012), Optimization of the discretization process in the production of an electrically conducting heat-resistant combination yarn, *Fibre Chemistry* 43: 362.
3. Ueng, T. H. and Cheng, K. B. (2001), Friction Core Spun Yarns for Electrical Properties of Woven Fabrics, *Composites Part A*. 32(10): 1492–1496.
4. Zamostotskiy, E. G., Kostin, P. A., Kogan, A. G. (2007), The technology of manufacturing of thermo resistant electro conductive yarns and threads for fabrics of special purposes [Tehnologiya polucheniya kombinirovannykh termostoykih elektroprovodyaschih pryazhi i nitey dlya tkaney spetsialnogo naznacheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2011, № 20. pp. 56–64.
5. Kostin, P. A., Dyagilev, A. S. & Kogan, A. G. (2012), Optimization of the discretization process in the production of an electrically conducting heat-resistant combination yarn, *Fibre Chemistry* 43: 362.

Статья поступила в редакцию 21. 09. 2017 г.