

## РАЗРАБОТКА ОГНЕ- И ТЕРМОСТОЙКОЙ ТКАНИ С ЭФФЕКТОМ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### DEVELOPMENT OF FIRE- AND HEAT-RESISTANT FABRIC WITH THE EFFECT OF SHIELDING ELECTROMAGNETIC RADIATION

П.Е. Сафонов, Н.М. Левакова, Е.М. Горынина  
P.E. Safonov, N.M. Levakova, E.M. Gorynina

ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», (Москва)  
TEKS-CENTRE Ltd, (Moscow)  
E-mail info@teks-centre.ru

Представлены результаты разработки защитной огне- и термостойкой ткани, предназначенной для пошива специальной экранирующей одежды. Костюмы с использованием разработанной ткани могут быть использованы для эффективной защиты от электрических полей промышленной частоты (50 Гц), в том числе наведенного напряжения, а также для защиты от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

**Ключевые слова:** метаарамидная пряжа, электропроводящие термостойкие нити, двухслойная ткань, физико-механические свойства, экранирующие свойства.

The results of development of the protective fire- and heat-resistant fabric intended for tailoring of special shielding clothes are presented. Suits using the developed fabric can be used for effective protection against electric fields of industrial frequency (50 Hz), including induced voltage, as well as for protection against electromagnetic radiation of the radio frequency range.

**Keywords:** metaaramide yarn, electrically conductive heat-resistant threads, two-layer fabric, physical and mechanical properties, shielding properties.

Известно, что длительное воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) оказывает вредное воздействие на организм человека, в том числе вызывает повышенную утомляемость, боли в области сердца, изменение кровяного давления и пульса [1]. С другой стороны существует опасность поражения током персонала, обслуживающего высоковольтное электрическое оборудование. В наибольшей степени опасности поражения электрическим током подвергается персонал, работающий в условиях воздействия электрических полей промышленной частоты (ПЧ) закрытых распределительных устройств (ЗРУ), открытых распределительных устройств (ОРУ), воздушных линий электропередачи (ВЛ) и контактных сетей (КС) железных дорог.

Таким образом, цель исследовательской работы заключалась в проектировании ткани, обеспечивающей защиту от электрических полей промышленной частоты (50 Гц), в том числе наведенного напряжения и дополнительную защиту от электромагнитных полей радиочастотного диапазона (до 2 ГГц). Проектируемая ткань должна быть пригодна для изготовления верха индивидуальных экранирующих комплектов спецодежды и отвечать основным требованиям ГОСТ 12.4.172-2014 [2], а также выпускаться в огне- и термостойком исполнении.

В соответствие с требованиями стандарта защитная костюмная экранирующая ткань должна быть: 1) изготовлена с включением электропроводящих нитей в системе основы и утка; 2) иметь высокую электрическую проводимость; 3) обладать заданным коэффициентом экранирования электрического поля промышленной частоты; 4) обладать заданной разрывной нагрузкой при растяжении и заданной раздирающей нагрузкой; 5) обладать огнестойкими свойствами; 6) выдерживать 10 циклов машинной стирки и (или) 10 циклов химической чистки без изменения своих защитных свойств; 7) обладать заданной устойчивостью при истирании; 8) иметь заданную воздухопроницаемость и т.д.

Исходя из требований, предъявляемых к защитной костюмной ткани, обзора и анализа имеющейся патентно-технической информации [3-6], периодической литературы [7-8] был сделан рациональный выбор сырьевого состава и структуры ткани. Экранирующую костюмную ткань предложено изготавливать двухслойным переплетением, при этом внешний (лицевой) слой должен состоять из метаарамидной пряжи 16,7x2 текс (№ 60/2) с включением антистатических волокон, а внутренний (изнаночный) слой должен содержать комбинированные электропроводящие нити, состоящие в свою очередь из метаарамидной пряжи сердечника 16,7 текс (№ 60/1) и металлической микропроволоки в оплетке.

Использование сочетания метаарамидной пряжи и электропроводящих нитей в составе ткани позволяет обеспечить высокие огне- и термостойкие свойства и придать ткани свойства электропроводности. При выборе пряжи для изготовления защитной ткани было установлено, что кислородный индекс метаарамидной пряжи оставляет 28-30%, а значит, использование данной пряжи не будет способствовать распространению пламени, характер горения будет самозатухающим [9].

В качестве термостойких электропроводящих нитей предложено использовать так называемые мишурные нити, состоящие из метаарамидной одиночной пряжи в качестве сердечника и медной посеребренной или стальной проволоки в качестве электропроводящей оплетки. Содержание металлической проволоки в составе комбинированной нити может находиться в пределах от 60 до 80%, в зависимости от используемого вида металла, диаметра проволоки и линейной плотности пряжи-сердечника.

Фотографии термостойких электропроводящих нитей представлены на рис. 1. Как видно из рис. 1 метаарамидную одиночную пряжу предложено обкручивать либо медной посеребренной, либо стальной проволокой в одном или двух противоположных направлениях.

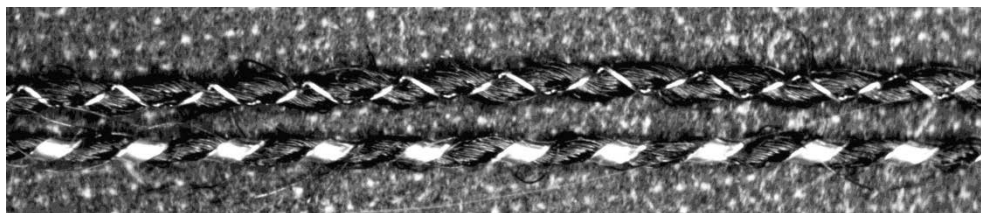


Рис. 1 Фотографии комбинированных термостойких электропроводящих нитей: сверху – двойная оплетка сталью, внизу – одиночная оплетка медной посеребренной плюшевой проволокой

Комбинированные термостойкие электропроводящие (мишурные) нити вводятся в изнаночный слой экранирующей ткани с определенным шагом, который согласно ГОСТ 12.4.172-2014 должен быть не более 1x1 мм. На рис. 2 представлена схема расположения нитей в изнаночном слое ткани.

Спроектированная двухслойная экранирующая ткань изготавливается на бесчелночных станках, оснащенных ремизоподъемной кареткой и, по меньшей мере, двухцветным механизмом смены утка. Ткань после снятия со станка подвергается заключительной отделке, в результате которой наносится маслородоотталкивающая пропитка. Ткань может выпускаться в различных цветах по желанию заказчика, при этом для получения заданного цвета используется уже окрашенная метаарамидная пряжа.

Далее были исследованы показатели физико-механических свойств двухслойной экранирующей ткани. В табл. 1 представлены результаты испытаний физико-механических свойств экранирующей ткани, при проведении испытаний применялись общепринятые стандарты и методики, современное лабораторное оборудование. Физико-механические свойства ткани определялись в суровом и готовом виде.

Изучались и сравнивались показатели физико-механических свойств для двух образцов экранирующих тканей, отличающихся друг от друга материалом микропроволоки, используемой в составе комбинированных электропроводящих нитей.

Таблица 1

Значения показателей физико-механических свойств экранирующей двухслойной ткани

Наименование показателя	Требование ГОСТ Т	Обозначение образца			
		Суровый		Готовый	
Материал микропроволоки	-	М едь	С таль	М едь	Ста ль
Ширина ткани, см	-	156,6	152,6	156,3	153, 8
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	300±10	289,8	296,5	288,1	281,8
Толщина ткани, мм	-	0,648	0,643	0,593	0,634
Разрывная нагрузка полоски ткани (50x200)мм, Н	Не менее 800				
по основе	Не менее 800	1432,3	1557,8	1449,9	1611,8
по утку		1428,3	1549,0	1553,9	1580,4
Удлинение при разрыве полоски ткани (50x200)мм, %					
по основе	-	33,2	34,2	31,0	34,0
по утку	-	27,0	25,8	27,5	23,9
Раздирающая нагрузка ткани (50x200)мм, Н	Не менее 40				
по основе	Не менее 40	157,0	127,5	169,7	172,7
по утку		131,5	121,6	142,2	130,5
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с	Не менее 30	432	328	346	315
Истирание, циклы	Не менее 4000	5703	6344	6652	6770
Изменение размеров ткани после 10 циклов машинной стирки, %	Не более ±3				
по основе	Не более ±3	-	-	-2,4	-3,5
по утку		-	-	-2,5	-3,8
Изменение размеров ткани после 10 циклов химической чистки, %	Не более ±3				
по основе	Не более ±3	-	-	0	-1,0
по утку		-	-	0	+0,5

При анализе данных табл. 1 установлено, что разработанная ткань по показателям разрывной и раздирающей нагрузки с большим запасом удовлетворяет требованиям ГОСТ. При этом ткань в готовом виде имеет поверхностную плотность на уровне 282...288 г/м<sup>2</sup>, что даже меньше требуемых 300±10 г/м<sup>2</sup>, а значит, из разработанной ткани можно пошить более легкие и удобные костюмы без ухудшения их защитных свойств. Отметим, что разработанная ткань имеет высокую устойчивость при истирании и имеет воздухопроницаемость на порядок выше, чем минимально допустимое нормативное значение, что позволяет изготовить комфортные защитные костюмы для работы в летних условиях.

Далее рассмотрим такой показатель, как удельное поверхностное электрическое сопротивление ткани (испытания по ГОСТ 19616-74 [10]). Установлено, что поверхностное сопротивление лицевой стороны ткани не превышает  $10^5$  Ом. Это значит, что лицевой слой, благодаря включению в метаарамидную пряжу антистатических волокон, может быть классифицирован по ГОСТ 11209-2014 [11], как обладающий антиэлектростатическими свойствами (поверхностное сопротивление не превышает  $10^7$  Ом). Поверхностное сопротивление изнаночной стороны, как и ожидалось, еще меньше и находится на уровне  $10^2$ - $10^3$  Ом. Таким образом, разработанная экранирующая ткань обладает высокой электропроводностью.

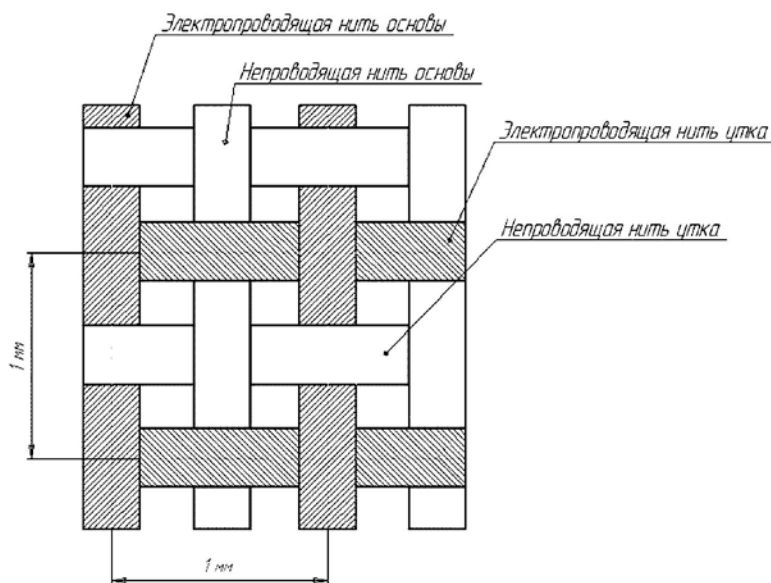


Рис. 2. Схема ячейки, образованной электропроводящими нитями основы и утка изнаночного слоя ткани

Оценим экранирующие свойства разработанной ткани. Для оценки эффективности разработанной ткани от полей промышленной частоты были изготовлены индивидуальные защитные костюмы. Определение коэффициента экранирования электрического поля промышленной частоты 50 Гц осуществлялось с использованием стенда по моделированию коронного разряда постоянного тока. В ходе испытаний увеличение уровня напряженности электрического поля осуществлялось ступенчато от 8 до 95 кВ/м (14 ступеней).

Установлено, что усредненный коэффициент экранирования при расположении манекена «лицом» вверх составляет 49 дБ, а при расположении манекена «спиной» вверх 78 дБ при требовании ГОСТ 12.4.172-2014 не менее 30 дБ. Разница в эффективности экранирования между «лицом» и «спиной» манекена может быть обусловлена конструкцией защитного костюма.

Для оценки эффективности экранирующей ткани в радиочастотном диапазоне (300 кГц...7 ГГц, 10 ГГц и 16 ГГц) были проведены соответствующие испытания. На рис. 3 представлены результаты измерений коэффициентов прохождения ЭМИ в диапазоне частот 300 кГц...7 ГГц, измерения проводились в коаксиальном тракте, обеспечивающим распространение волны ТЕМ-моды.

Установлено, что при частоте излучения 300 кГц коэффициент прохождения составляет -80 дБ, что свидетельствует о высокой экранирующей способности. С увеличением частоты излучения эффективность экранирования ткани снижается по закону, близкому к линейному (по мощности ЭМП), что обусловлено ячеистой структурой расположения электропроводящих нитей в ткани. При частотах излучения свыше 2 ГГц коэффициент прохождения становится более -30 дБ, т.е. использование разработанной ткани становится малоэффективным.

На частотах 10 и 16 ГГц были проведены измерения  $K_{\text{прох.}}$  в секции прямоугольного волновода на основной моде  $H_{10}$  при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение тракта. Установлено, что на частотах 10 и 16 ГГц коэффициент прохождения составляет -20 и -16 дБ, соответственно. Для повышения степени экранирования в высокочастотном диапазоне необходимо уменьшить расстояние между электропроводящими нитями в структуре ткани.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработанная ткань может обеспечить эффективную защиту от излучения радиочастотного диапазона вплоть до 2 ГГц и защиту от полей промышленной частоты (50 Гц), в том числе наведенного напряжения.

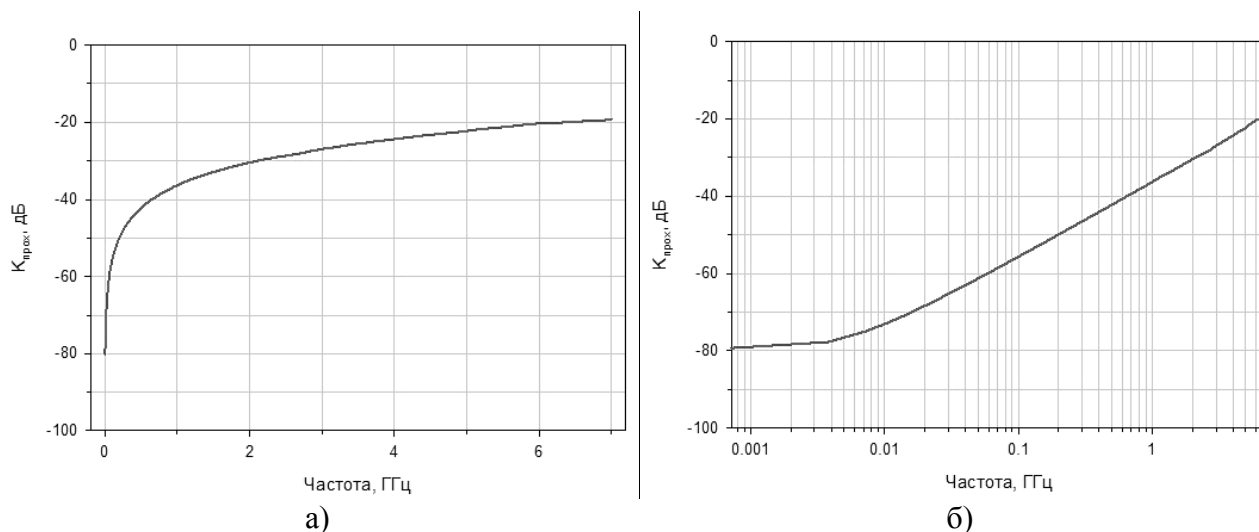


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента прохождения ЭМИ для образца экранирующей ткани: а) линейный режим; б) логарифмический режим

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П. Обеспечение сохранения здоровья работающих в условиях воздействия электромагнитных полей промышленной частоты – Режим доступа: <http://energoform.ru/files/pdf/4.pdf>
2. ГОСТ 12.4.172-2014. Система стандартов безопасности труда. Комплект индивидуальный экранирующий для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования и методы испытаний.
3. Левакова Н.М., Пазина И.П., Горынина Е.М., Фатхутдинов Р.Х., Тарасов Л.А., Комлев Р.А. Ткань для специальной одежды / Пат. № 2229544 РФ, МПК D03D1/00; подача заявки: 26.03.2003; публикация патента: 27.05.2004.
4. Smeulders B. Fabric for protective clothing and protective clothing. Пат. № EP2418309 A2; МПК D03D1/00, A41D31/00, D03D15/12, A62B17/00, D03D13/00; Заявка EP20110174836, Заявитель IBENA Textilwerke Beckmann GmbH, Заявлен 21.07.2011, Дата публикации 15.02.2012.
5. Masanobu Takahashi, Keita Tasaki, Takashi Tamura. Fireproof fabric and fireproof clothing including same. Пат. № EP2402488 A1; МПК A41D31/00, D03D13/00, D03D15/12, D02G3/44; Заявка EP20100766896, Заявитель The Japan Wool Textile Co., Ltd., SABIC Innovative Plastics IP B.V., Заявлен 23.02.2010, Дата публикации 04.01.2012.
6. Meng Ming, Qilu. Electromagnetic wave shielding fabric and manufacturing method thereof. Пат. № CN 102618994; МПК D06M15/643, D02G3/04, D03D15/00, D06M15/227, D03D15/02, D06M15/55, D02G3/12, D06M15/53; Заявка CN 201210122371, Заявитель Tianjin Polytechnic University, Заявлен 25.04.2012, Дата публикации 01.08.2012.
7. Rybicki T., Brzezinski S., Lao M., Krawczynska I. Modeling Protective Properties of Textile Shielding Grids Against Electromagnetic Radiation. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2013; 21, 1(97): pp. 78-82.

8. Николаев С.Д., Сильченко Е.В. Исследование экранирующих свойств тканей // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014): сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014. – С. 33-36.
9. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. — СПб.: Научные основы и технологии, 2009. — 380 с.
10. ГОСТ 19616-74 Ткани и трикотажные полотна. Метод определения удельного поверхностного электрического сопротивления (с Изменениями № 1, 2, 3, 4).
11. ГОСТ 11209-2014 Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний.