

РАЗРАБОТКА СТРУКТУР И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ РАДИООТРАЖАЮЩИХ ТКАНЕЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АНТЕНН

П. Е. Сафонов*, Н. М. Левакова

ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»

Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Малая Почтовая, 2/2

*E-mail: info@teks-centre.ru

Актуальность исследования обусловлена активным развитием современного оборудования с применением мощных источников электромагнитного излучения, а также расширением сфер их применения.

Представлены результаты разработки структуры и технологии изготовления термостойкой радиоотражающей ткани, отличающейся от существующих аналогов высокой термо- и радиационной стойкостью, меньшей поверхностной плотностью, высоким значением коэффициента отражения электромагнитного излучения частотой до 16 ГГц включительно. Необходимость использования новых радиоотражающих тканей продиктована ужесточением требований, предъявляемых к материалам и конструкциям космических антенн.

Цель работы состояла в замене существующей серийной ткани, используемой в конструкциях излучателей спиральных космических антенн, на радиоотражающую ткань, изготовленную из новых комбинированных термостойких электропроводящих нитей.

Комбинированные термостойкие электропроводящие нити предложено вырабатывать на крутильно-оплеточных машинах специальной конструкции. В качестве сердечника комбинированных нитей предложено использовать параарамидные или полиимидные нити линейной плотности не более 8–14 текс, а в качестве электропроводящей оплетки использовать стальные или медные микропроволоки диаметром не более 50 мкм. Разработанные нити отличаются высокими значениями разрывной нагрузки, малым удлинением и малой линейной плотностью.

Предложены технологические параметры (натяжение и скоростные режимы) изготовления комбинированных нитей и технологические параметры процесса изготовления радиоотражающей ткани на их основе по переходам ткацкого производства.

Исследованы основные физико-механические свойства и радиотехнические характеристики серийной и новой радиоотражающих тканей. Спроектированные на базе комбинированных термостойких электропроводящих нитей образцы радиоотражающих тканей обладают поверхностной плотностью от 50 до 130 г/м² при требовании не более 150 г/м². Новые образцы радиоотражающих тканей обеспечивают коэффициент отражения излучения частотой до 16 ГГц на уровне 98 % при требовании не менее 95 %. Установлено, что разработанная ткань имеет преимущество перед существующей тканью по всем показателям.

Результатом работы является внедрение новых тканей в конструкции спиральных антенн, разрабатываемых АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева».

Ключевые слова: параарамидные нити, комбинированные термостойкие электропроводящие нити, радиоотражающая ткань, радиотехнические характеристики ткани.

Sibirskii Gosudarstvennyi Aerokosmicheskii Universitet
imeni Akademika M. F. Reshetneva. Vestnik
Vol. 18, No. 1, P. 219–226**THE DEVELOPMENT OF STRUCTURES AND TECHNOLOGIES OF MANUFACTURING OF HEAT-RESISTANT RADIO REFLECTION FABRICS FOR SPACE ANTENNAS**

P. E. Safonov*, N. M. Levakova

TEKS-CENTRE Ltd

2/2, Malaya Pochtovaya Str., Moscow, 105005, Russian Federation

*E-mail: info@teks-centre.ru

The actuality of the research is due to the rapid development of modern equipment with the use of powerful sources of electromagnetic radiation, as well as the expansion of spheres of their application.

The study presents the results of the design and technology of heat-resistant fabric radio reflection that differs from existing analogues by high thermal and radiation resistance, lower surface density, a high value of the reflection coefficient of the electromagnetic radiation with a frequency up to 16 GHz, inclusive. The need for new radio reflection fabric is dictated by the tightening of requirements to materials and structures for space antennas.

The aim of this work was to replace existing serial fabric used in the construction of spiral space antennas, radio reflection fabric, made of new combined heat-resistant electrically conductive threads.

The combined heat-resistant electrically conducting threads are proposed to develop a twisting-braiding machine of special design. As the core combined threads is proposed to use polyimide or with a para-aramid yarn with a linear density of no more than 8–14 Tex, and the electrically conductive braid to use steel or copper microwire with a diameter of less than 50 microns. Developed threads are characterized by high values of the breaking load, low elongation and low linear density.

The process parameters (tension and speed modes) of the manufacture of combined threads and process parameters of the manufacturing process radio reflection fabrics on their basis the transition of weaving are proposed.

The basic physico-mechanical properties and electronic characteristics of serial and new radio reflection fabrics have been researched. Designed on the basis of combined heat-resistant conductive thread samples of radio reflection fabrics have a surface density of from 50 to 130 g/m² with the requirement of not more than 150 g/m². New samples of fabrics provide radio reflection coefficient of reflection of radiation with a frequency up to 16 GHz at 98 % when demand is not less than 95 %. It was found that the developed fabric has the advantage over the existing fabric in all respects.

The result is the introduction of new fabrics in the design of spiral antennas by JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”.

Keywords: para-aramid yarn, heat-resistant conductive thread, radio reflection fabric, electrical characteristics of the fabric.

Введение. Разработка новых структур тканей специального назначения, сочетающих свойства высокой термо- и радиационной стойкости, электропроводности, отличающихся при этом минимально возможной поверхностной плотностью, является актуальной задачей, так как подобные ткани находят применение в различных областях техники, в том числе космической.

Для обеспечения жестких требований, предъявляемых к конструкциям и материалам космических антенн, разрабатываемых в АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», необходимо использовать новые радиоотражающие материалы, отличающиеся от существующих аналогов высокой термо- и радиационной стойкостью, отсутствием газыделения, минимальным весом, стабильностью размеров и обеспечивающие высокие значения коэффициента отражения электромагнитных волн заданной частоты.

В конструкциях излучателей спиральных космических антенн в качестве радиоотражающего материала долгое время использовалась серийная ткань арт. 56041 с поверхностной плотностью 180 г/м². Данная ткань изготавливается из специальных мишурных нитей, полимерный сердечник которых выполняется из полиамидной нити, а электропроводящая оплетка – из медной плюшевой посеребренной проволоки.

Недостатком ткани арт. 56041 является низкая термо- и радиационная стойкость (из-за использования в ее структуре мишурных нитей, содержащих полиамид) и высокая поверхностная плотность, что не устраивает заказчика.

Таким образом, цель работы заключалась в замене существующей радиоотражающей ткани на новую ткань или серию тканей, к которым предъявляются следующие требования:

- стойкость к воздействию температур в диапазоне от –180 до +180 °С;
- воздействие ионизирующего излучения до дозы $2,9 \times 10^8$ рад;
- работоспособность в условиях вакуума 1×10^{-13} мм рт. ст.;

- отсутствие газыделения (летучие конденсирующиеся вещества – менее 0,1 %);

- поверхностная плотность не более 150 г/м²;

- коэффициент отражения электромагнитного излучения не менее 95 % на частотах до 16 ГГц.

На основании обзора отечественных [1–5] и зарубежных [6–10] периодических изданий и патентных источников было установлено, что существующие текстильные материалы не соответствуют перечисленным требованиям по причине низкой термостойкости, а также из-за высокой поверхностной плотности, либо не подходят по радиотехническим характеристикам (имеют низкие значения коэффициентов отражения в радиочастотном диапазоне).

Поэтому для решения поставленной задачи было предложено вырабатывать новые радиоотражающие ткани из комбинированных термостойких электропроводящих нитей, которые изготавливаются на крутильно-оплеточных машинах специальной конструкции. Подобные структуры тканей имеют преимущество перед металлизированными с поверхности тканями [4; 5], так как они сохраняют свои свойства в течение всего срока эксплуатации.

На рис. 1 в качестве примера представлены фотографии ткани из полиимидных нитей, никелированной гальваническим способом, и фотографии ткани из комбинированных электропроводящих нитей, содержащих стальную микропроволоку в оплетке. Видно, что в местах пересечения нитей основы и утка у ткани, металлизированной с поверхности, отсутствует металлическое покрытие, что снижает надежность электрических контактов, к тому же, металлическое покрытие может осыпаться с поверхности органических волокон, обладающих малой шероховатостью. Этим недостатком лишены ткани из комбинированных текстильно-металлических нитей, содержащих в оплетке различные металлические микропроволоки.

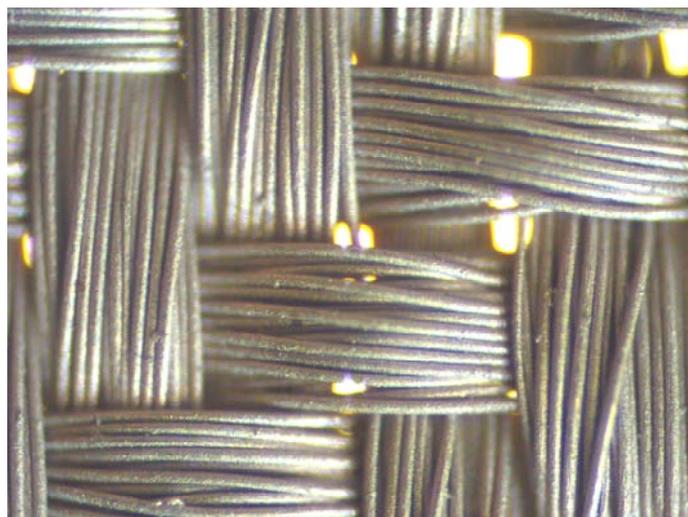
Разработка комбинированных термостойких электропроводящих нитей. Для решения задачи по созданию радиоотражающей ткани, обладающей совокупностью заданных эксплуатационных свойств, было

предложено использовать комбинированные термостойкие электропроводящие нити, которые можно изготовить путем оплетения текстильной нити металлической микропроволокой на крутильно-оплеточных, тростильно-крутильных или прядильно-крутильных машинах [11; 12].

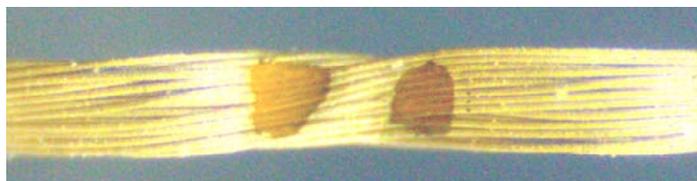
В настоящем исследовании комбинированные термостойкие электропроводящие нити изготавливались на крутильно-оплеточной машине с полыми веретенами, где полимерная нить-сердечник заправляется в полое веретено, на веретено устанавливается катушка с металлической микропроволокой-оплеткой,

которая заправляется в рогульку, что обеспечивает требуемый уровень ее натяжения и равномерность распределения по поверхности сердечника.

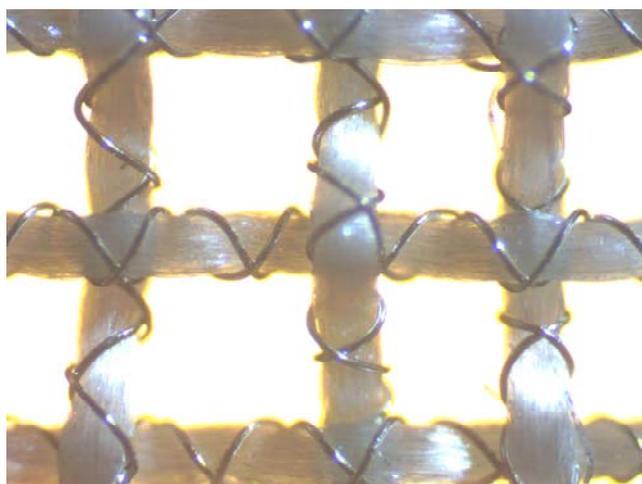
На рис. 2 представлена фотография, сделанная при изготовлении комбинированной нити, где запечатлена баллонирующая медная проволока при оплетении арамидной нити. При формировании комбинированной нити натяжение сердечника составляет от 3 до 12 % от его абсолютной разрывной нагрузки, а натяжение металлической микропроволоки должно быть, по меньшей мере, на 50 % меньше натяжения сердечника.



а



б



в

Рис. 1. Фотографии различных видов радиотражающих тканей: *а* – никелированная арамидная ткань; *б* – нить, извлеченная из никелированной ткани; *в* – ткань из комбинированных электропроводящих нитей с двойной стальной оплеткой

В качестве сердечника новых комбинированных термостойких электропроводящих нитей предложено использовать комплексные параарамидные нити АРМАЛОН® или РУСЛАН® или полиимидные нити АРИМИД®. В оплетке предложено использовать медную посеребренную или стальную микропроволоку.

Таким образом, высокая прочность, термо- и радиационная стойкость комбинированной нити обеспечиваются за счет использования в ее сердечнике параарамидных или полиимидных нитей [13; 14], а высокая электропроводность обеспечивается за счет использования металлической микропроволоки, которая должна обладать минимальным электрическим сопротивлением [15; 16].

В табл. 1 представлены основные показатели свойств разработанных комбинированных термостойких электропроводящих нитей в сравнении с серийной мишурной нитью, а на рис. 3 представлены фотографии некоторых полученных образцов комбинированных нитей.

Установлено, что содержание металлической оплетки в составе комбинированных нитей может находиться в пределах от 60 до 80 %, в зависимости от используемого вида металла, диаметра проволоки и линейной плотности полимерной нити-сердечника, а значит, управляя данным показателем, можно управлять радиотехническими характеристиками ткани.

Разработанные образцы комбинированных нитей отличаются от серийной мишурной нити меньшей линейной плотностью благодаря использованию более тонких сердечников с большей удельной прочностью, меньшим удлинением и не уступают серийной нити в разрывной нагрузке (исключение – образец 3 с полиимидным сердечником). Все это позволяет изготовить из новых комбинированных нитей термо-

стойкие радиоотражающие ткани, обладающие заданными эксплуатационными свойствами.

Технология изготовления радиоотражающей ткани. Разработанные комбинированные термостойкие электропроводящие нити поступают в preparatory отдел ткацкого производства на двухфланцевых катушках. Снование осуществляется на ленточной машине специальной конструкции, оснащенной стойкой-шпулярником с вращающимися катушками, таким образом, достигаются требуемые условия радиального сматывания нитей.

Скорость снования не должна превышать 30 м/мин. Средний уровень натяжения в процессе снования составляет 10 сН, при коэффициенте вариации 30–40 %, максимальное натяжение достигает 25 сН, что составляет всего 1,5–2,0 % от разрывной нагрузки нити.

Для изготовления новой радиоотражающей ткани был выбран челночный способ ткачества. Скорость челночного ткацкого станка при изготовлении радиоотражающей ткани составляет 140–160 об/мин. Среднее натяжение основы за период формирования раппорта ткани полотняного переплетения составляет 20 сН, натяжение при прибое достигает 120 сН, а натяжение в момент заступа не превышает 2 сН. Наматывание уточных шпуль осуществляется на уточном автомате, среднее натяжение при формировании уточной шпули может составлять 30–80 сН.

После изготовления радиоотражающей ткани она подвергается процессу заключительной отделки, что позволяет удалить замасливатель А-1 (ТУ 2484-002-05744685-2002) с поверхности арамидных нитей. Удаление замасливателя необходимо для удовлетворения требований заказчика по минимальному газо-выделению в условиях космического пространства.



Рис. 2. Форма медной проволоки при оплетении арамидной нити

Показатели свойств комбинированных термостойких электропроводящих нитей

Наименование показателя свойств	Образцы комбинированных нитей					
	Серийный	Опытные				
		1	2	3	4	5
Материал сердечника	Полиамид	АРМАЛОН	АРМАЛОН	АРИМИД	РУСЛАН	РУСЛАН
Материал оплетки	Медь	Сталь	Медь			Сталь
Содержание сердечника/оплетки, %	35 / 65	37 / 63	25 / 75	29 / 71	21 / 79	27 / 73
Результирующая линейная плотность нити, текс	44,1	11,1	32,5	38,9	29,8	23,7
Разрывная нагрузка, сН	851,6	877,4	1474,3	534,9	1739,9	1600,7
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	6,0	6,9	9,1	15,4	5,3	5,3
Удлинение при разрыве, %	18,5	5,2	6,5	9,4	6,3	4,4
Коэффициент вариации по удлинению, %	17,6	7,2	5,9	11,5	4,0	5,9

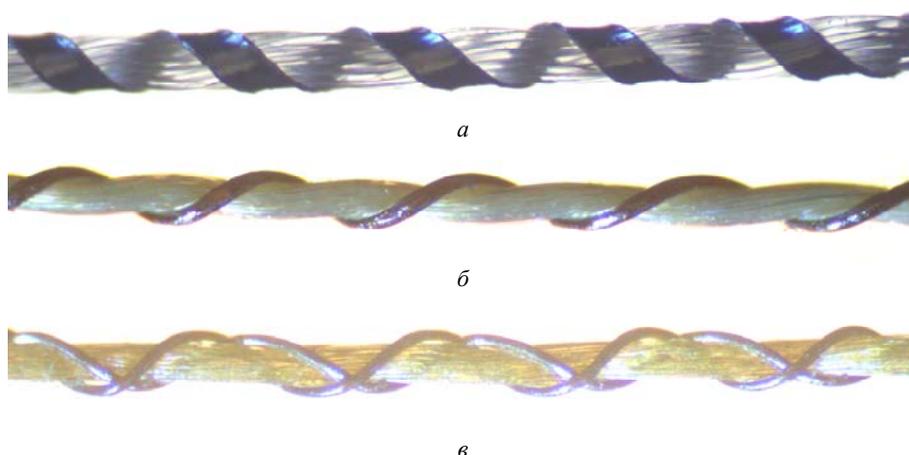


Рис. 3. Фотографии комбинированных электропроводящих нитей: *а* – серийная мишурная нить с полиамидным сердечником и медной «плюшкой» в оплетке; *б* – арамидная нить АРМАЛОН, оплетенная медной проволокой; *в* – арамидная нить РУСЛАН, оплетенная в двух противоположных направлениях стальной проволокой

Отделка заключается в отварке и последующей сушке ткани. Содержание замасливателя А-1 до отварки составляет 3,12 мас. %, после отварки – 0,5 мас. %. Содержание летучих конденсирующихся веществ по ГОСТ Р 50109–92 при вакуумно-тепловом воздействии у ткани в готовом виде составляет 0,02 %, при норме менее 0,1 %. Потеря массы составляет 0,53 %, а потеря массы с учетом рекондиционирования – 0,04 %, при норме менее 1,0 %.

Изучение свойств радиотражающих тканей. Как следует из данных табл. 1, результирующая линейная плотность большинства разработанных комбинированных термостойких электропроводящих нитей находится в пределах от 11 до 34 текс, тогда как линейная плотность серийных мишурных нитей составляет 45 текс, это позволяет спроектировать и изготовить новую радиотражающую ткань с поверхностной плотностью менее 150 г/м² без потери ее радиотехнических характеристик.

В табл. 2 представлены основные показатели физико-механических свойств разработанных радио-

отражающих термостойких тканей в сравнении с серийной тканью арт. 56041. Из данных табл. 2 следует, что разработанные на базе комбинированных термостойких электропроводящих нитей образцы тканей арт. 5477-15, 5478-15 и 5487-15 отличаются от серийной ткани меньшей поверхностной плотностью и толщиной, при этом ткань арт. 5477-15 не уступает по разрывной нагрузке серийной ткани. На рис. 4 представлены фотографии некоторых разработанных радиотражающих тканей.

Одним из основных требований, предъявляемых к новой радиотражающей ткани, является требование высокой термостойкости. Термостойкость образцов тканей определялась путем их испытаний на растяжение до и после выдерживания в термошкафу при температуре 300 °С в течение 30 мин.

Установлено, что после термообработки серийной ткани происходит значительное снижение ее свойств при растяжении, разрывная нагрузка снижается на 94 %, а удлинение – на 67 %. Разработанная ткань арт. 5477-15 отличается от серийной ткани большей термостойкостью,

так как ее разрывная нагрузка и удлинение снижаются до 55 и 25 % соответственно. При этом ткань арт. 5477-15 не обнаруживает изменения геометрических размеров (термоусадку).

В табл. 3 представлены значения радиотехнических характеристик образцов тканей для частоты излучения 16 ГГц. Измерения проводились в секции прямоугольного волновода при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение тракта. Были определены значения коэффициента отражения, прохождения и поглощения в % и дБ.

В табл. 3 для сравнения приводятся радиотехнические характеристики металлизированной гальваническим способом ариamidной ткани арт. Н30-Т-5457/12, фотографии которой были представлены на рис. 1.

Установлено, что наиболее высокими значениями коэффициента отражения излучения частотой 16 ГГц, превышающими значения для серийной ткани, отличается новая ткань арт. 5477-15, в структуре которой использована медная посеребренная микропроволока. Образец ткани арт. 5477-15 обладает коэффициентом отражения более 98 % при требовании не менее 95 %.

Образец металлизированной с поверхности ткани арт. Н30-Т-5457/12 незначительно уступает ткани арт. 5477-15 по коэффициенту отражения, но стоит иметь в виду, что никелевое покрытие толщиной около 18–19 мкм может осыпаться с поверхности ариamidных нитей, а значит, для данной ткани в процессе эксплуатации значение коэффициента отражения будет только снижаться.

Образцы тканей арт. 5478-15 и 5487-15, в структуре которых была использована стальная микропроволока, показали наименьшие значения коэффициента отражения, что связано с большим удельным электрическим сопротивлением стали по сравнению с медью. Однако данные образцы отличаются наименьшей поверхностной плотностью, так как удельный вес стали меньше удельного веса меди, что дает им некоторое преимущество. Повысить коэффициент отражения образцов, содержащих сталь, возможно при использовании комбинированной нити, в которой сердечник оплетен стальной микропроволокой в двух противоположных направлениях (рис. 3, в и рис. 4, б).

Для того чтобы определить область использования разработанных материалов, были произведены измерения коэффициентов отражения на частоте 30 ГГц. Было установлено, что ткань арт. 5477-15 с 75%-м содержанием медной посеребренной проволоки имеет коэффициент отражения 91,75 %, а ткань арт. 5487-15 с 73%-м содержанием стальной проволоки – 87,69 %, при этом металлизированная ариamidная ткань арт. Н30-Т-5457/12 с 46%-м содержанием частиц никеля имеет коэффициент отражения 94,61 %.

Несмотря на то, что спроектированные материалы уступают в коэффициенте отражения металлизированной с поверхности ткани на частоте излучения 30 ГГц, их использование на частотах до 16 ГГц включительно представляется более целесообразным в силу меньшей поверхностной плотности и способности сохранять радиотехнические характеристики в течение всего срока эксплуатации.

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств радиоотражающих тканей

Наименование показателя свойств	Артикул ткани				
	Требование	56041	5477-15	5478-15	5487-15
Сырьевой состав	Термостойкие электропроводящие нити	Полиамид + медь	АРМАЛОН + медь	АРМАЛОН + сталь	РУСЛАН + 2*сталь
Линейная плотность основы и утка, текс	–	45,4	32,5	11,1	23,7
Поверхностная плотность ткани, г/м ²	Не более 150	180,3	128,6	52,8	100,4
Толщина ткани, мкм	Не более 280	320	234	130	225
Разрывная нагрузка, Н: по основе по утку	Не менее 550 Не менее 520	720,0 697,6	724,9 719,6	– –	– –
Удлинение при разрыве, %: по основе по утку	– –	27,1 24,0	7,7 8,9	– –	– –
Разрывная нагрузка после термообработки, Н: по основе по утку	– –	41,6 41,5	411,0 323,0	– –	– –
Удлинение при разрыве после термообработки, %: по основе по утку	– –	9,5 7,7	5,8 7,3	– –	– –

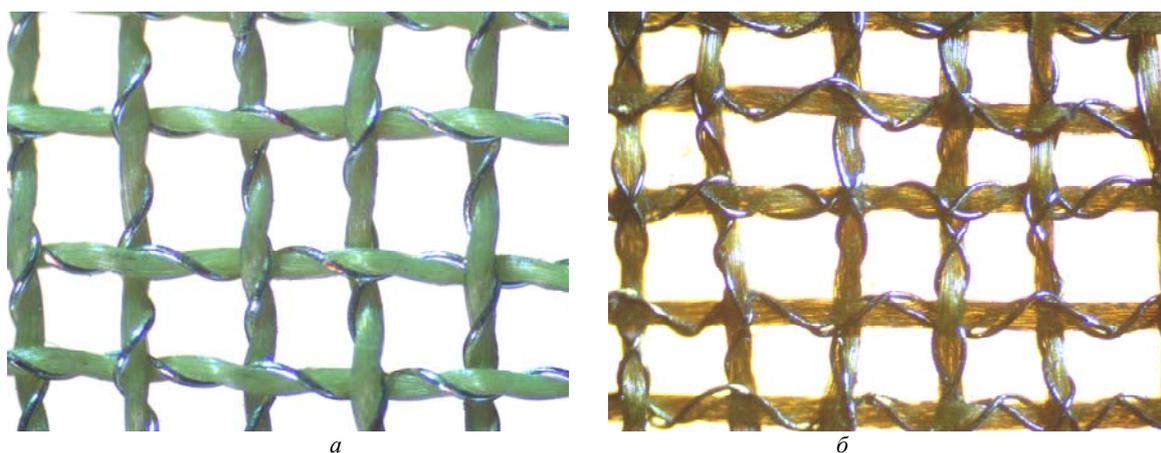


Рис. 4. Термостойкие радиоотражающие ткани:
 а – ткань из нитей с одиночной медной оплеткой;
 б – ткань из нитей с двойной стальной оплеткой

Таблица 3

Радиотехнические характеристики радиоотражающих тканей при частоте 16 ГГц

Артикул	Поверхностная плотность, г/м ²	Поляризация излучения	K _{отр}		K _{прох}		K _{погл}
			%	дБ	%	дБ	
5477-15	128,6		98,06	-0,09	0,27	-25,7	1,67
		⊥	98,31	-0,07	0,48	-23,2	1,21
5478-15	52,8		91,88	-	0,37	-25,0	7,64
		⊥	88,60	-	0,39	-23,3	11,0
5487-15	100,4		95,20	-0,21	0,14	-28,5	4,66
		⊥	96,60	-0,15	0,18	-27,4	3,20
56041	180,3		94,15	-	0,26	-25,7	5,59
		⊥	94,92	-	0,28	-25,5	4,80
Н30-Т-5457/12	130,0		97,77	-	0,03	-	-
		⊥					

Заключение. По итогам выполненной работы заказчиком был сделан выбор в пользу использования новой ткани арт. 5477-15, изготовленной из комбинированных термостойких электропроводящих нитей. Разработанная ткань отличается от существующих аналогов высокой термостойкостью, меньшей толщиной и поверхностной плотностью, отсутствием газовой выделений, стабильностью размеров при термообработках, не уступает серийной ткани в прочности и обладает требуемыми значениями коэффициента отражения электромагнитного излучения. Начат серийный выпуск новой ткани в соответствии с утвержденными техническими условиями – ТУ 8378-198-35227510-2015.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2229544 Российская Федерация, МПК D 03 D 1/00. Ткань для специальной одежды / Левакова Н. М., Пазина И. П., Горынина Е. М. и др. № 2003107998/12 ; заявл. 26.03.2003 ; опубл. 27.05.2004.

2. Пат. 2411315 Российская Федерация, МПК D 03 D 15/00, В 82 В 1/00. Ткань для защиты от электромагнитных излучений / Грищенко В. А., Владимиров Д. Н., Фукина В. А и др. № 2010104869/12 ; заявл. 12.02.2010 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4.

3. Пат. 2054064 Российская Федерация, МПК D 03 D 15/00, А 41 D 13/02. Токопроводящая термостойкая ткань / Левакова Н. М., Пушкин Ю. П., Савенкова О. А. и др. Заявл. 29.12.1992 ; опубл. 10.02.1996, Бюл. № 4.

4. Пат. 2338021 Российская Федерация, МПК D 06 M 11/83, D 03 D 15/12, D 02 G 3/38, С 23 С 14/35, В 82 В 3/00, А 62 В 17/00. Металлизированный материал «Нанотекс» / Левакова Н. М., Горынина Е. М., Горберг Б. Л. и др. № 2006146782/04 ; заявл. 28.12.2006 ; опубл. 10.11.2008, Бюл. № 31.

5. Пат. 2505256 Российская Федерация, МПК А 41 D 13/00, D 03 D 15/00, С 23 С 14/35, С 23 С 14/20. Способ получения электропроводящего текстильного материала / Горберг Б. Л., Иванов А. А., Стегнин В. А. и др. № 2011145585/02 ; заявл. 9.11.2011 ; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.

6. Modeling Protective Properties of Textile Shielding Grids Against Electromagnetic Radiation / Т. Rybicki [et al.] // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013. Vol. 21. № 1(97). P. 78–82.

7. Textiles Embroidered with Split-Rings as Barriers Against Microwave Radiation / М. Michalak [et al.] // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009. Vol. 17. № 1(72). P. 66–70.

8. Electromagnetic wave-shielding fabric and garment : пат. Н 01 221549 (А) Япония : МПК D 03 D 15/00,

D 06 M 11/00, D 06 M 11/38, D 06 M 11/83, H 05 F 1/00 / Kusufuji Jiyuui, Nagata Masahiro, Sugiyama Shigeru. № 19880048145 19880229 ; опуб. 05.09.1989.

9. Electromagnetic wave absorbing multilayer structure fabric and processing method thereof : пат. 103832009 А Китай : МПК В 32 В 7/04, D 06 М 11/74, В 32 В 33/00, D 06 М 11/83, H 01 Q 17/00, В 32 В 9/04, В 32 В 5/02 / Ding Zhirong, Europe Weiguo, Xu Jianhua. etc. № 201410046172 ; заявл. 10.02.2014 ; опубл. 04.07.2014.

10. Electromagnetic wave shielding fabric and manufacturing method thereof : пат. 102618994 Китай : МПК D 06 М 15/643, D 02 G 3/04, D 03 D 15/00, D 06 М 15/227, D 03 D 15/02, D 06 М 15/55, D 02 G 3/12, D 06 М 15/53 / Meng Ming Qilu. № 201210122371; заявл. 25.04.2012 ; опубл. 01.08.2012.

11. Замостоцкий Е. Г. Комбинированные электропроводящие нити. Витебск : УО «ВГТУ», 2012. 169 с.

12. Коган А. Г., Замостоцкий Е. Г., Иванова Т. П. Ткани с комбинированными электропроводящими нитями // Сборник научных трудов по ткачеству, посвященный 100-летию со дня рождения Ф. М. Розанова. М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006. С. 193–196.

13. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб. : Научные основы и технологии, 2009. 380 с.

14. Сравнительная оценка термических характеристик ароматических нитей (полиоксазольных, полиимидных и полиарамидных) / К. Е. Перепелкин [и др.] // Химические волокна. 2004. № 5. С. 45–48.

15. Кудрявин Л. А., Заваруев В. А., Беляев О. Ф. Выбор материала микропроволоки для вязания отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых антенн // Решетневские чтения : материалы XVII Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет-космич. систем акад. М. Ф. Решетнева (12–14 нояб. 2013, г. Красноярск). В 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. Ю. Ю. Логинова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. С. 78–79.

16. Кудрявин Л. А., Беляев О. Ф., Заваруев В. А. Преимущества использования микропроволоки в два сложения для вязания отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых космических антенн // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014) : сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. М. : ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014. С. 37–40.

References

1. Levakova N. M., Pazina I. P., Gorynina E. M. et al. *Tkan' dlya spetsial'noy odezhdy* [Fabric for special clothes]. Patent RF, No. 2229544, 2004.

2. Grishchenkova V. A., Vladimirov D. N., Fukina V. A. et al. *Tkan' dlya zashchity ot elektromagnitnykh izlucheny* [Fabric for protection from electromagnetic radiation]. Patent RF, No. 2411315, 2011.

3. Levakova N. M., Pushkin Yu. P., Savenkova O. A. et al. *Tokoprovodyashchaya termostoykaya tkan'* [Conductive heat resistant fabric]. Patent RF, No. 2054064, 1996.

4. Levakova N. M., Gorynina E. M., Gorberg B. L. et al. *Metallizirovannyy material "Nanoteks"* [Metallised material "Nanoteks"]. Patent RF, No. 2338021, 2008.

5. Gorberg B. L., Ivanov A. A., Stegnin V. A. et al. *Sposob polucheniya elektroprovodyashchego tekstil'nogo materiala* [A method of producing an electrically conductive textile material]. Patent RF, No. 2505256, 2013.

6. Rybicki T., Brzezinski S., Lao M. et al. Modeling Protective Properties of Textile Shielding Grids Against Electromagnetic Radiation. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2013, Vol. 21, No. 1(97), P. 78–82.

7. Michalak M., Kazakevicius V., Dudzinska S. et al. Textiles Embroidered with Split-Rings as Barriers Against Microwave Radiation. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2009, Vol. 17, No. 1(72), P. 66–70.

8. Kusufuji Jiyuui, Nagata Masahiro, Sugiyama Shigeru. Electromagnetic wave-shielding fabric and garment. Patent JP, No. H01221549 (A), 1989.

9. Ding Zhirong, Europe Weiguo, Xu Jianhua et al. Electromagnetic wave absorbing multilayer structure fabric and processing method thereof. Patent CN, No. 103832009 A, 2014.

10. Meng Ming Qilu. Electromagnetic wave shielding fabric and manufacturing method thereof. Patent CN, No. 102618994, 2012.

11. Zamostotskiy E. G. *Kombinirovannyye elektroprovodyashchie niti* [Combined conductive thread]. Vitebsk, UO VGTU Publ, 2012, 169 p.

12. Kogan A. G., Zamostotskiy E. G., Ivanova T. P. *Tkani s kombinirovannymi elektroprovodyashchimi nit'yami* [Fabric combined with conductive threads]. *Sbornik nauchnykh trudov po tkachestvu, posvyashchenny 100-letiyu so dnya rozhdeniya F. M. Rozanova* [Collection of scientific works on weaving, on the 100th anniversary of the birth of F. M. Rozanov]. Moscow, MGTU im. A. N. Kosygina, 2006, P. 193–196 (In Russ.).

13. Perepelkin K. E. *Armiruyushchie volokna i voloknistyye polimernyye kompozity* [Reinforcing fibres and fibrous polymeric composites]. St. Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2009, 380 p.

14. Perepelkin K. E., Malan'ina O. B., Pakshver E. A. et al. Comparative evaluation of the thermal properties of aromatic fibres (polyoxazole, polyimide, and polyaramid). *Fibre Chemistry*, 2004, Vol. 36, No. 5, P. 365–369. Doi:10.1007/s10692-005-0010-z.

15. Kudryavin L. A., Zavaruev V. A., Belyaev O. F. [Choice of material microwire for knitting reflecting surface of large-size transformable antennas]. *Materialy XVII Mezhdunar. nauch. konf. "Reshetnevskie cheniya"* [Materials XVII Intern. Scientific. Conf "Reshetnev readings"]. In 2 parts. Krasnoyarsk, SibGAU, 2013, Part 1, P. 78–79 (In Russ.).

16. Kudryavin L. A., Belyaev O. F., Zavaruev V. A. [The benefits of using the microwire in two additions for knitting reflecting surface large transformable space antennas]. *Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti (INNOVATsII-2014): sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Chast' I* [Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVATION 2014): proceedings of the International scientific-technical conference. Part 1]. Moscow, 2014, P. 37–40 (In Russ.).