

# Применение наночастиц висмута для защиты текстильных материалов от СВЧ-излучения

**А.С. Торшин**, аспирант<sup>1</sup>

**В.В. Сафонов**, заведующий кафедрой, профессор, д-р техн. наук<sup>1</sup>

**Е.Ю. Буслаева**, ведущий научный сотрудник, д-р хим. наук<sup>2</sup>

**С.П. Губин**, заведующий лабораторией, д-р хим. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет дизайна и технологии

<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук

**e-mail:** anton-torshin@yandex.ru

## Ключевые слова:

наночастицы,  
висмут,  
материалы,  
электромагнитное излучение,  
радиозащитная одежда.

*Проведен синтез наночастиц металла, который заключался в химическом восстановлении раствора нитрата висмута. Разработаны оптимальные параметры восстановления висмута до нуль-валентного металлического состояния и его нанесения на ткани. Рассчитаны параметры и разработана конструкция оборудования для воздействия на металлизированные текстильные материалы электромагнитного излучения сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона для действующей лабораторной полупромышленной установки. Проведена обработка образцов натуральных текстильных тканей наночастицами висмута и выполнены исследования распределения наночастиц в объеме ткани, их формы, размера, способа закрепления в объеме материала. СВЧ-воздействие на образец проводилось в камере со стоячей волной модульной конвейерной установки. Показано, что подвергаемая излучению модифицированная ткань позволяет снизить дозу облучения. После СВЧ-воздействия определялись прочностные свойства целлюлозных материалов. Ткани подвергались стирке бытовым порошком, после чего определялись физико-механические свойства – изменение линейных размеров после мокрой обработки, разрывная и раздирающая нагрузка, жёсткость при изгибе, воздухопроницаемость, гигроскопичность, электрическое сопротивление, коэффициент ослабления ЭМИ. Материал может быть использован в радиозащитной одежде с усиленной парциальной защитой – комбинезон, шлем, перчатки и бахилы, изготовленные из радиоотражающих материалов.*

## 1. Введение

Проблема защиты человека и техники от сверхвысокочастотного излучения (СВЧ-излучения) существует давно, так как использование наполнителей обычного размера для ослабления излучения может значительно ухудшить механическую целостность волокон. Металлизированные ткани обладают хорошим экранирующим эффектом, обеспечивают эффективную защиту от воздействия электромагнитных полей и излучения. Для нанесения покрытия используют алюминий, бронзу, серебро, сплавы титана, нержавеющей сталь и другие металлы [1, 2].

Нанотехнологии придают новый импульс появлению на рынках более экологически безопасных химикатов, используемых во многих продуктах и сферах применения [3]. В последнее время актуальным становится применение такого уникального металла, как висмут. Например, наночастицы Au, покрытые оболочкой Bi, с успехом использованы как затравочные катализаторы для выращивания CdSe нанопроволок [4]. Наночастицы оксида висмута в текстильном материале могут обеспечить защиту от СВЧ-излучения, незначительно воздействуя на механические свойства ткани [5]. В то же время противорадиационные свойства, которыми обладает висмут,

позволяют разработать новую технологию отделки текстильных материалов и расширить существующий ассортимент.

Использование технологии, предлагаемой нами, позволяет получить материал с высокими защитными характеристиками от электропроводных полей в широком диапазоне частот. Ткань отличается высокой отражательной способностью радиочастот широкого диапазона и высокой электропроводимостью, позволяющей использовать материал в конструкциях и изделиях, применяемых для устранения статического электричества. Процесс характеризуется высокой технологичностью.

## 2. Экспериментальные исследования

Способ синтеза наночастиц металла заключался в химическом восстановлении раствора  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  (концентрация 0,3 г/л) в течение 10 мин при температуре 100 °С и постоянном перемешивании раствора.

Для определения содержания висмута в растворе до восстановления точные навески раствора помещали во взвешенный фарфоровый тигель и сначала осторожно нагревали на малом огне, а после охлаждения взвешивали. Для определения количества восстановленного металла в таком же количестве раствора применялся способ получения мелкокристаллического порошкообразного висмута. Способ предполагает вытеснение воздуха из раствора аргоном, добавление к данным растворам органической смеси (состоит из циклогексана, метилметакрилата и 2-гидроксиэтилметакрилата), перемешивание водной и органической фаз в смесителе при рН 8, дестабилизирование коллоидной системы добавлением этилового спирта, отделение продукта центрифугированием, промывку его последовательно этанолом, дистиллированной водой и ацетоном, вакуумную сушку продукта и его отжиг в аргоне при температуре 240 °С в течение 2 ч. На

рис. 1 представлена электронная фотография наночастиц висмута. Определен средний размер наночастиц  $\text{Bi}$ , полученных химическим способом, который равен  $30 \pm 5$  нм.

Обработка материалов осуществлялась по стандартной схеме, включающей замачивание в растворе, 100%-ный отжим, сушку при 100–110 °С в течение 10–15 минут и термообработку при 150°С в течение 5–7 минут. Условия и результаты опытов приведены в табл. 1.

На рис. 2 представлена микрофотография поверхности исходной ткани и материала, обработанного  $\text{NaBH}_4$ . В результате воздействия данным реагентом целлюлозная ткань не подверглась никаким изменениям, что доказывает возможность использования боргидрида натрия в качестве восстановителя на хлопчатобумажном материале. Показана принципиальная возможность применения боргидрида для восстановления соли висмута на целлюлозном материале. Проведено восстановление соли висмута боргидридом натрия на целлюлозной ткани. На рис. 3 показана поверхность материала, в структуре которого находится висмут в форме наночастиц.

Проверена гипотеза о нетепловом воздействии СВЧ электромагнитных колебаний на хлопчатобумажные материалы [6]. СВЧ-воздействие на образец проводилось в камере со стоячей волной модульной конвейерной установки на частоте 2450 МГц при мощности 700 Вт. После СВЧ-воздействия определялись прочностные свойства целлюлозных материалов по ГОСТ 381-72 с помощью разрывной машины РМ-3-1 [7].

Исследования показали, что нетепловое воздействие СВЧ электромагнитных колебаний в среднем на 12–15% повышает относительную разрывную нагрузку хлопчатобумажных тканей по сравнению с необлученными в зависимости от времени обработки. Зависимости построены по средним значениям

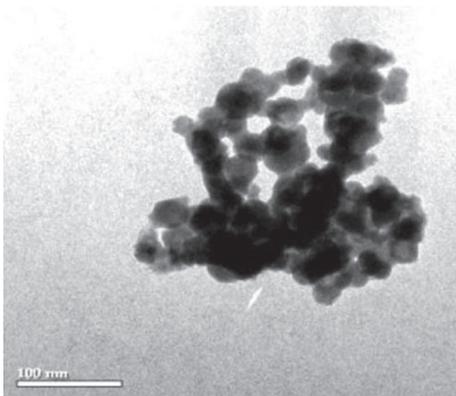


Рис. 1. Электронная фотография наночастиц висмута

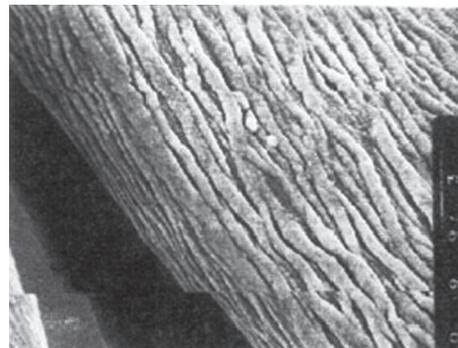


Рис. 2. Микрофотография поверхности хлопкового материала, обработанного боргидридом натрия

Таблица 1

Показатели восстановленного на ткани висмута  
в форме наночастиц

№ опыта	pH при обработке ткани	Масса висмута в растворе $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ , г	Масса висмута в восстановленном растворе, г	Содержание висмута на ткани, мг/г
1	1,2	1,0	0,8	3,390
2	1,2	0,9	0,7	5,610
3	1,2	1,2	1,0	7,300
4	1,2	1,1	0,8	2,500
5	1,2	1,3	1,1	5,100
6	1,2	0,7	0,65	3,640
7	0,9	1,0	0,8	2,260
8	1,0	0,8	0,7	3,530
9	1,5	1,2	1,0	2,470
10	1,9	1,1	0,9	3,070

Примечание.

- 1 – раствор  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$ ,
- 2 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$  (конц. 0,05:0,005 М),
- 3 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4]$  (конц. 0,001:0,005 М),
- 4 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3$ ,
- 5 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3 + \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (р-р, 3 г/л),
- 6 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{AgNO}_3 + \text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{NO}_2$ ,
- 7 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (р-р, 2 г/л),
- 8 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2$ ,
- 9 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2 + \text{C}_7\text{H}_8\text{O}$  (р-р, 3 г/л),
- 10 –  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2 + \text{C}_7\text{H}_8\text{O}$  (р-р, 2 г/л).

измеренной величины при десятикратном повторении измерений в одинаковых условиях.

Через 7 и 30 дней с момента обработки целлюлозных тканей в СВЧ электромагнитном поле контролировалась стабильность их прочностных свойств. Установлена незначительная релаксация удельной относительной разрывной нагрузки на 3–6%.

При расположении хлопчатобумажной ткани в СВЧ электромагнитном поле параллельно вектору на-

пряженности разрывное удлинение увеличилось на 36,4–46,2% по сравнению с тканью, ориентированной перпендикулярно вектору напряженности, линейная плотность увеличилась на 4,2–12,7%, фактическая разрывная нагрузка — на 2,4–9,2%, уменьшилась удельная относительная разрывная нагрузка. Чтобы определить, насколько прочно наночастицы висмута закреплены в металлизированных тканях, были проведены следующие испытания: стирка (5 стирок) и химическая чистка. В табл. 2 приведены данные о содержании висмута в целлюлозной ткани после стирок.

После первой стирки вымывается около 35% висмута. Затем при последующих трех стирках металл практически не вымывается, а после пятой стирки потери висмута вновь значительно увеличиваются. После пятой стирки в ткани остается около 32% висмута. Таким образом, после первой стирки уходят наночастицы висмута, которые были закреплены механическим способом. Вымывание висмута после пятой стирки объясняется тем, что моющий раствор проникает на границу раздела между поверхностью наночастиц и материалом и постепенно разрушает их связь, стимулируя потерю металла при многократных стирках.

Метод металлизации с применением наночастиц висмута позволяет получить металлизированные текстильные материалы, представляющие собой структуры, насыщенные по объему проводящими металлическими частицами с плавно меняющейся концентрацией по толщине ткани. Средняя массовая доля висмута  $M_{\text{Bi}}$  в образце при одинаковом режиме обработки составила 2,73 мг/г.

Проводили исследование текстильных материалов, металлизированных наночастицами висмута, на стойкость к воздействию СВЧ-излучения. В табл. 3 представлены исходная, металлизированные и обработанные без металла ткани, которые испытывались на стойкость к СВЧ-излучению.

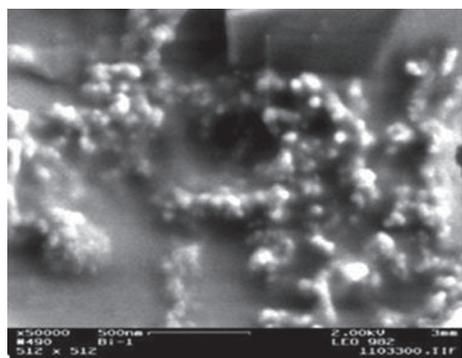


Рис. 3. Микрофотография поверхности материала, модифицированного наночастицами висмута

Таблица 2  
Изменение содержания висмута  
в хлопчатобумажной ткани при многократных стирках

Номер пробы (стирки)	Массовая доля висмута в ткани, мг/г					
	до стирки	Номер стирки				
		1	2	3	4	5
1	3,39	2,76	2,38	2,34	2,35	1,43
2	5,61	3,01	3,18	1,98	2,61	1,35
3	7,3	5,48	3,98	4,66	4,38	2,87
4	2,5	1,51	1,74	0,45	0,47	0,44
5	5,1	2,58	3,49	2,65	2,05	1,59
Среднее значение	4,78	3,07	2,95	2,42	2,37	1,54

Образец ткани 4 обеспечивает уровень ослабления ЭМИ, достаточный для обеспечения экранирования ЭМП при решении ряда задач обеспечения электромагнитной совместимости и других защитных задач в диапазоне частот до 109 Гц (30 дБ).

Для испытаний использованы образцы квадратной формы размером 50×50 мм. Измерения при частоте 1 ГГц проводились на лабораторном стенде на базе измерителя комплексных коэффициентов передачи «Обзор-804/1», сопряженного с компьютерной системой регистрации и обработки сигнала. Образцы помещались в коаксиальную измерительную ячейку сечением 16/6,95 мм, согласованную с коаксиальным измерительным трактом и включенную в режим измерения ослаблений. Перед проведением измерений проводилась калибровка пустой измерительной ячейки по амплитуде и фазе. Достоверность измерений амплитуды ослабленного сигнала проверялась включением набора фиксированных аттенюаторов соответствующего частотного диапазона (50 дБ).

Измерения на частоте 10 ГГц проводились в сечениях прямоугольных волноводов соответствующего сечения 23×10 мм и 16×8 мм на основной моде Н10 при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение линии. Измерения выполнены на идентичных лабораторных установках, построенных на базе СВЧ-генераторов Г4-83 и Г4-108, измерительных волноводных линий, встроенных в тракт с вентиляемыми развязками, селективных нановольтметров типа «Upiran 235». Динамический диапазон составлял 80 дБ.

Таблица 3

Текстильные материалы,  
исследованные на стойкость к СВЧ-излучению

Ткань	Номер образца	Содержание висмута, мг/г
Исходная	К	0
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + NaBH <sub>4</sub>	1	3,390
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> [Sn(OH) <sub>4</sub> ] (конц. 0,05:0,005 М)	2	5,610
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> [Sn(OH) <sub>4</sub> ] (конц. 0,001:0,005 М)	3	7,300
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + AgNO <sub>3</sub>	4	2,500
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + AgNO <sub>3</sub> + C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O (p-p, 3 г/л)	5	5,100
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + AgNO <sub>3</sub> + C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> O <sub>2</sub>	6	3,640
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O (p-p, 2 г/л)	7	2,260
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + NaC <sub>18</sub> H <sub>35</sub> O <sub>2</sub>	8	3,530
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + NaC <sub>18</sub> H <sub>35</sub> O <sub>2</sub> + C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O (p-p, 3 г/л)	9	2,470
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> + NaC <sub>18</sub> H <sub>35</sub> O <sub>2</sub> + C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O (p-p, 2 г/л)	10	3,070

3. Результаты и их обсуждение

В табл. 4 представлены результаты испытания стойкости тканей, металлизированных наночастицами висмута, к воздействию СВЧ-излучения.

Наилучшей по коэффициенту ослабления электромагнитного излучения СВЧ является ткань 1, обработанная раствором Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + NaBH<sub>4</sub>, а наихудшей — ткань 4, обработанная Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + AgNO<sub>3</sub>. Ткани подвергались 50 стиркам бытовым порошком, после которых определялись такие физико-механи-

Таблица 4

Коэффициент ослабления ЭМИ тканей, дБ

Кол-во стирок	Ткань									
	4		6		1		8		5	
	1 ГГц	10 ГГц								
0	-28,5	-27,9	-28,5	-13,8	-12,6	-7,3	-17,3	-8,5	-15,4	-9,5
1	-29,5	-29,4	-29,5	-14,5	-13,5	-8,5	-18,6	-9,8	-16,4	-11,5
5	-30,9	-30,5	-30,9	-15,3	-14,6	-9,3	-19,5	-10,2	-17,4	-12,4
10	-31,5	-31,8	-31,5	-16,7	-15,8	-10,5	-20,5	-11,8	-18,6	-13,1
25	-33,9	-32,8	-33,9	-17,8	-17,8	-11,7	-22,8	-12,6	-19,9	-13,9
50	-34,7	-33,7	-34,7	-18,8	-18,5	-12,6	-23,7	-13,5	-22,5	-14,5

Таблица 5

Изменение линейных размеров после мокрой обработки тканей для защиты от ЭМИ, %

Количество стирок	Ткань									
	4		6		1		8		5	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
5	-2,5	-13,5	0	0	0	0	-1,4	0	-2,5	0
25	-10,1	-15,5	-1,2	-1,1	-0,5	0	-2,1	-1,1	-7,1	-2,2
50	-13,3	-24,5	-1,3	-1,3	-0,6	0	-2,2	-1,4	-7,4	-2,3

## Методы и средства обеспечения безопасности Methods and Means of Safety

ческие свойства, как изменение линейных размеров после мокрых обработок, разрывная и раздирающая нагрузка, жесткость при изгибе, воздухопроницаемость, гигроскопичность, электрическое сопротивление, коэффициент ослабления ЭМИ. В табл. 5 приведено изменение линейных размеров после мокрых обработок тканей для защиты от ЭМИ. Видно, что ткань 1, обработанная нитратом висмута и боргидридом натрия, имеет наименьшую усадку, а ткань 4 — наибольшую.

Следует отметить, что наименьшие изменения наблюдаются для ткани 4, которая не разрушается в процессе стирок при механических воздействиях. При этом снижение защитных свойств происходит по логарифмическому закону.

Проводился расчет характеристик надежности тканей для защиты от электромагнитного излучения по разрывной и раздирающей нагрузкам, электрическому сопротивлению и коэффициенту ослабления ЭМИ. Для этой цели изучали ткань 4 после многократных стирок. Интенсивность отказов коэффициента ослабления ЭМИ после 50 стирок возрастает почти в 1,5 раза.

В табл. 6 показано, что полученная ткань 1, обработанная раствором  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$ , превосходит известные материалы по потребительским характеристикам. Увеличены разрывная и раздирающая нагрузки, стойкость к истиранию, значительно уменьшена усадка и при этом ткань обладает защитными свойствами от ЭМИ.

### 4. Заключение

Разработан способ получения и внедрения наночастиц висмута в текстильный материал, а также метод получения защитной одежды из радиоотра-

### Литература

1. Каргин Ю.Ф., Ивичева С.Н., Буслаева Е.Ю., Кувшинова Т.Б., Володин В.Д., Юрков Г.Ю. Получение наночастиц висмута в опаловой матрице восстановлением соединений висмута изопропанолом в сверхкритическом состоянии // Неорганические материалы. 2006. — Т. 42. — № 5. — С. 547–550.
2. Rabin O., Manuel Perez J., Grimm J., Wojtkiewicz G., Weissleder R. An X-ray computed tomography imaging agent based on long-circulating bismuth sulphide nanoparticles // NatMater. 2006. — Vol. 5. — P. 118–122.
3. Кобраков К.И., Дмитриева М.Б., Золина Л.И., Родионов В.И., Ручкина А.Г., Серенко О.А., Станкевич Г.С. Получение наномодифицированных биоцидных шерстяных материалов и исследование устойчивости их фунгицидных свойств к мокрым обработкам // Бутлеровские сообщения. 2014. — Т. 37. — № 2. — С. 53–59.
4. Губин С.П., Юрков Г.Ю., Катаева Н.А. Наночастицы благородных металлов и материалы на их основе / ИОНХ РАН. — М., 2006. — С. 18.
5. Юрков Г.Ю., Астафьев Д.А., Горковенко М.Ю., Буслаева Е.Ю., Каргин Ю.Ф., Губин С.П. Модификация состава висмутсодержащих наночастиц внутри полиэтиленовой матрицы // Журнал прикладной химии. 2005. — № 50(9). — С. 1402–1407.
6. Слепцова С.К., Лаврентьев В.А. Модификация волокнистого поликапроамида в СВЧ электромагнитном поле // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. — №4 (19). — С. 144–147.
7. Никифорова А.А., Давыдов А.Ф. Метод определения коэффициента ослабления тканей для защиты от электромагнитных излучений // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. 2012. — № 3 (339). — С. 16–18.

Таблица 6  
Физико-механические показатели ткани 1, обработанной раствором  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBH}_4$ , для защиты от ЭМИ

Показатель	Образец			
	1	2	3	4
Разрывная нагрузка полоски ткани 50×50 мм, Н				
по основе	750	775	936	540
по утку	710	625	876	510
Раздирающая нагрузка, Н				
по основе	32	34	140	17
по утку	38	53	95	30
Стойкость к истиранию, циклы	5100	4800	6000	3500
Изменение линейных размеров после мокрой обработки (усадка), %				
по основе	2,4	2,0	2,5	5,0
по утку	1,2	1,3	0,8	2,0

Примечание. 1 — байка, 2 — фланель, 3 — бязь, 4 — ситец.

жающих материалов. Эксперимент показал, что поглощающие свойства обработанного материала, содержащего наночастицы висмута, выше, чем у исходной ткани в диапазоне длин волн от 1 до 10 ГГц. Наилучшей по коэффициенту ослабления электромагнитного излучения СВЧ является ткань, обработанная растворами нитрата висмута и боргидрида натрия.

Проведены испытания металлизированных тканей на устойчивость к стирке и химической чистке. Полученный материал превосходит известные ткани по потребительским характеристикам. Увеличены разрывная нагрузка, раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию, значительно уменьшена усадка.

## References

1. Kargin Yu.F., Ivicheva S.N., Buslaeva E.Yu., Kuvshinova T.B., Volodin V.D., Yurkov G.Yu. Poluchenie nanochastits vismута v opalovoy matritse vosstanovleniem soedineniy vismута izopropanolom v sverkhkriticheskom sostoyanii [Obtaining nanoparticles of bismuth in an opal matrix recovery of bismuth compounds with isopropanol in a supercritical state]. *Neorganicheskie materialy* [Inorganic Materials], 2006, V.42, I. 5, pp. 547–550 (in Russian).
2. O. Rabin, J. Manuel Perez, J. Grimm, G. Wojtkiewicz, R. Weissleder. An X-ray computed tomography imaging agent based on long-circulating bismuth sulphide nanoparticles. *NatMater*. 2006. Vol. 5. P.118–122.
3. Kobrakov K.I., Dmitrieva M.B., Zolina L.I., Rodionov V.I., Ruchkina A.G., Serenko O.A., Stankevich G.S. Poluchenie nanomodifitsirovannykh biotsidnykh sherstyanykh materialov i issledovanie ustoychivosti ikh fungitsidnykh svoystv k mokrym obrabotkam [Getting nanomodified biocidal woolen materials and research the sustainability of their fungicidal properties to wet processing]. *Butlerovskie soobshcheniya* [Butlerov Communications]. 2014, V. 37, I. 2, pp. 53–59 (in Russian).
4. Gubin S.P., Yurkov G.Yu., Kataeva N.A. *Nanochastitsy blagorodnykh metallov i materialy na ikh osnove* [Nanoparticles of noble metals and materials on their basis]. Moscow, 2006, pp. 18 (in Russian).
5. Yurkov G.Yu., Astaf'ev D.A., Gorkovenko M.Yu., Buslaeva E.Yu., Kargin Yu.F., Gubin S.P. Modifikatsiya sostava vismutsoderzhashchikh nanochastits vnutri polietilenovoy matritsy [modification of the composition of bismuth nanoparticles in a polyethylene matrix]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Journal of Applied Chemistry]. 2005, pp. 1402–1407 (in Russian).
6. Sleptsova S.K., Lavrent'ev V.A. Modifikatsiya voloknistogo polikaproamida v SVCh elektromagnitnom pole [Modification of fiber polycapraamide microwave electromagnetic field]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. 2006, I. 4 (19), pp.144–147.
7. Nikiforova A.A., Davydov A.F. Metod opredeleniya koefitsienta oslableniya tkaney dlya zashchity ot elektromagnitnykh izlucheniye [Method for the determination of the attenuation coefficient of tissue to protect against electromagnetic radiation]. *Izvestiya VUZov. «Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti»* [Proceedings of the universities. "Technology of textile industry"]. I. 3 (339), 2012.

## Application of Bismuth Nanoparticles for Textile Materials Protection Against Microwave Radiation

**A.S. Torshin**, Post-Graduate Student, Moscow State University of Design and Technology

**V.V. Safonov**, Head of the Department, Professor, Moscow State University of Design and Technology

**E.Yu. Buslaeva**, Leading Researcher, Professor, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences

**S.P. Gubin**, Head of the Laboratory, Professor, Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences

*Synthesis of metal nanoparticles which consisted in chemical restoration of solution of bismuth nitrate is carried out. Optimum parameters of bismuth restoration to a zero-valent metal state and its drawing on fabric are developed. Parameters are calculated and the design of the equipment for impact on the metallized textile materials microwave ovens by radiation is developed for the operating laboratory semi-plant. Processing of samples of natural textile fabrics is carried out by bismuth nanoparticles and researches of distribution of nanoparticles in volume of fabric, forms of particles, their size, a way of fixing in volume of material are conducted. Impact on a sample was carried out by the microwave oven in the camera with a standing wave of modular conveyor installation. It is shown that the modified fabric subjected to radiation allows to lower a radiation dose. After the microwave influence strength properties of cellulose materials were defined. Fabrics were exposed to washings by domestic laundry powder after which such physicochemical properties as change of the linear sizes after wet processings, the explosive and tearing apart loading, rigidity were defined at a bend, air permeability, hygroscopicity, electric resistance, coefficient of weakening of electromagnetic radiation. Material can be used in radio protective clothes with the strengthened partial protection which includes overalls, a helmet, gloves and boot covers made from the radio reflecting materials.*

**Keywords:** nanoparticles, bismuth, materials, radiation, radiation protective clothes.