

УДК 51-74:677.03

ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКНАХ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОГРАММ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю.

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: dobtatiana74@mail.ru

Представлены результаты моделирования рамановских спектрограмм полиэфирных волокон при нанесении на них наночастиц серебра. В результате проведенного моделирования были выделены: исходные спектры, фоновые составляющие и рамановские спектры без учета фоновых составляющих. Для упрощения процедур математического моделирования было выбрано 7 информативных резонансных пиков полученных спектрограмм. Дальнейшая обработка проводилась только по координатам резонансных пиков. Для выявления достоверности контроля наночастиц серебра по составляющим компонентам рамановских спектров при использовании условий информационной неопределенности в работе предложен метод оценки многомерной достоверности по совместной вероятности пересечения разбросов нормальных распределений интенсивностей рамановских спектрограмм без наночастиц и с наночастицами на волокнах в зависимости от волновых чисел по всему диапазону их изменений. В результате были получены значения достоверности контроля по составляющим компонентам рамановских спектрограмм и выявлен наиболее точный метод для проведения контроля наночастиц серебра на поверхности волокон.

Ключевые слова: полиэфирное волокно, наночастицы серебра, рамановские спектры, информационная неопределенность, математическое моделирование, фоновые люминесцентные составляющие, достоверность контроля, вероятность пересечения разбросов нормальных распределений

RELIABILITY OF CONTROL OF NANOPARTICLES OF SILVER ON POLYESTER FIBRES ON COMPONENTS OF THE RAMAN SPECTROGRAMS TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION UNCERTAINTY

Emelyanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.V., Orlov E.Y.

Southwest State University, Kursk, e-mail: dobtatiana74@mail.ru

Results of modeling of the Raman spectrograms of polyester fibers are presented when drawing nanoparticles of silver on them. As a result of the carried-out modeling were allocated: initial ranges, background components and the Raman ranges without background components. For simplification of procedures of mathematical modeling it was chosen 7 informative resonant peaks of the received spectrograms. Further processing was carried out only on coordinates of resonant peaks. For detection of reliability of control of nanoparticles of silver on making components of the Raman ranges when using conditions of information uncertainty in work the method of an assessment of multidimensional reliability on joint probability of crossing of dispersions of normal distributions of intensiveness of the Raman spectrograms without nanoparticles and with nanoparticles on fibers depending on wave numbers on all range of their changes is offered. Values of reliability of control on making components of the Raman spectrograms were as a result received and the most exact method for monitoring procedure of nanoparticles of silver on a surface of fibers is revealed.

Keywords: polyester fiber, silver nanoparticles, the Raman ranges, information uncertainty, mathematical modeling, background luminescent components, reliability of control, probability of crossing of dispersions of normal distributions

Для обеспечения медико-биологических, лечебных и защитных свойств необходима разработка инновационной технологии производства текстильных материалов, модифицированных наночастицами серебра. Для повышения достоверности контроля присутствия малого количества наночастиц серебра на текстильных волокнах в работе использован рамановский спектрометр с последующим выделением информативных спектральных составляющих и обработкой по математическим моделям в условиях информационной неопределенности. При этом учитывался физический эффект гигантского комбинационного рассеяния света (SERS) [1-2]. Кроме этого, применен поляризационный эффект лазерного луча, который обеспечивает дополнительное усиление комбинационных и фоновых составляющих. **Цель исследования** – разработка метода выявле-

ния наночастиц серебра, нанесенных на полиэфирные волокна, с применением рамановской спектроскопии.

Материал и методы исследования

При проведении эксперимента выбраны полиэфирные (ПЭ) волокна, на которые были нанесены наночастицы серебра из коллоидного раствора наночастиц серебра AgБион (ТУ 2499-003-44471019-2006, концерн «Наноиндустрия»). Получены следующие виды образцов волокон: образцы 0, 1, 2 – без наночастиц при различной поляризации луча; образцы 3, 4, 5 – с наночастицами серебра, высушенные в естественных условиях при различной поляризации луча; образцы 7, 8, 9 – с наночастицами серебра, высушенные в сушильном шкафу при различной поляризации луча. Измерения были проведены на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ).

На первом этапе моделирования был осуществлен перевод цифровой части рамановских спектрограмм из программы Spekwin 32 в Mathcad и произведено математическое моделирование фоновых составляющих

по минимальным значениям данных спектрограмм рамановского спектра [3–5]. Для примера на рис. 1, пред-

ставлены результаты моделирования для ПЭ волокна с наночастицами серебра для образца 4.

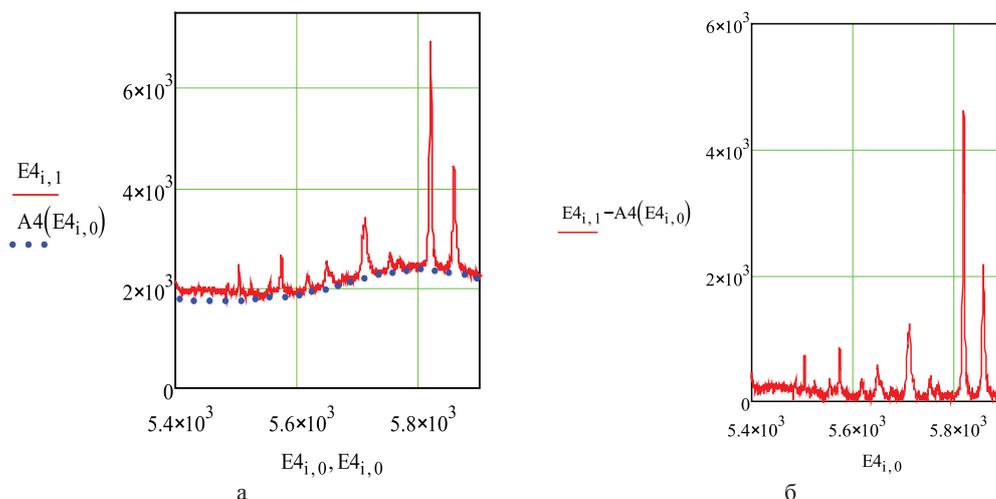


Рис. 1. Спектрограммы рамановского комбинационного рассеяния света в системе MathCad для образца 4 ПЭ волокна с наночастицами серебра:
 а – исходная спектрограмма ($E4$) и смоделированная фоновая составляющая ($A4(E4)$);
 б – спектрограмма без фоновых люминесцентных составляющих

Результаты исследования и их обсуждение

Проведем оцифровку полученных спектрограмм по пикам и отдель-

но по фоновым составляющим спектрограмм волокон в программе Mathcad и представим эти данные в виде матриц (1) и (2).

$$\begin{matrix}
 V_0 = \begin{pmatrix} 5401.9 & 2040.5 \\ 5505.8 & 2123.3 \\ 5575.4 & 2165.6 \\ 5650 & 2453.1 \\ 5712.5 & 2748.3 \\ 5820.8 & 3165.6 \\ 5859.6 & 3159.3 \end{pmatrix} &
 V_1 = \begin{pmatrix} 5400 & 2622.7 \\ 5505.3 & 2511.6 \\ 5574.5 & 2430.3 \\ 5649.6 & 2645.6 \\ 5712.1 & 3126.5 \\ 5819.9 & 3450.3 \\ 5857.8 & 3374.1 \end{pmatrix} &
 V_2 = \begin{pmatrix} 5401.4 & 2485.3 \\ 5505.3 & 2805.2 \\ 5575.4 & 3071.3 \\ 5650 & 3627 \\ 5712.5 & 4133.9 \\ 5820.4 & 4524 \\ 5858.7 & 4308.2 \end{pmatrix} \\
 \\
 W_0 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 2359.1 \\ 5505.8 & 2558.2 \\ 5575.4 & 2855.0 \\ 5650 & 2903.9 \\ 5712.5 & 3519.8 \\ 5820.8 & 5851.4 \\ 5859.6 & 4569.3 \end{pmatrix} &
 W_1 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 3131.1 \\ 5505.3 & 3260.7 \\ 5574.5 & 3389.7 \\ 5649.6 & 3320.1 \\ 5712.1 & 4393.9 \\ 5819.9 & 8402.1 \\ 5857.8 & 5714.8 \end{pmatrix} &
 W_2 := \begin{pmatrix} 5401.4 & 3101.0 \\ 5505.3 & 3720.7 \\ 5575.4 & 4505.5 \\ 5650.0 & 4591.8 \\ 5713.4 & 6124.8 \\ 5820.4 & 11513 \\ 5858.7 & 7507.7 \end{pmatrix} &
 (1) \\
 \\
 S_0 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 318.6 \\ 5505.8 & 434.9 \\ 5575.4 & 689.4 \\ 5650 & 450.8 \\ 5712.5 & 771.5 \\ 5820.8 & 2685.8 \\ 5859.6 & 1410.0 \end{pmatrix} &
 S_1 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 508.4 \\ 5505.3 & 749.1 \\ 5574.5 & 959.4 \\ 5649.6 & 674.5 \\ 5712.1 & 1267.4 \\ 5819.9 & 4951.8 \\ 5857.8 & 2340.7 \end{pmatrix} &
 S_2 := \begin{pmatrix} 5401.4 & 615.7 \\ 5505.3 & 915.5 \\ 5575.4 & 1434.2 \\ 5650.0 & 964.8 \\ 5712.5 & 1990.9 \\ 5820.4 & 6989.0 \\ 5858.7 & 3199.5 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

В матрицах W0, W1, W2 (1) и W3, W4, W5 (2) приведены данные координат пиков исходных начальных спектрограмм с учетом фоновых составляющих образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1а-Е4). В первых столбцах приведены волновые числа пиков, а во вторых столбцах приведены интенсивности пиков совместно с фоновыми составляющими по исходным начальным спектрограммам.

Всего выбрано 7 информативных пиков на каждой спектрограмме.

В матрицах S0, S1, S2 (1) и S3, S4, S5 (2) приведены данные координат только пиков без фоновых составляющих образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1б). В первых столбцах приведены волновые числа пиков, а во вторых столбцах приведены интенсивности пиков без фоновых составляющих спектрограмм.

$$\begin{array}{ccc}
 V3 = \begin{pmatrix} 5400.9 & 9242.2 \\ 5505.8 & 12741.7 \\ 5575.4 & 13551.9 \\ 5649.6 & 14232.6 \\ 5713 & 14447.5 \\ 5820.4 & 13582.8 \\ 5858.1 & 12840.6 \end{pmatrix} & V4 = \begin{pmatrix} 5400 & 15343.8 \\ 5505.8 & 18187 \\ 5574.9 & 16321.3 \\ 5649.6 & 14255.4 \\ 5712.1 & 12593.6 \\ 5819.5 & 10625.8 \\ 5857.8 & 9950 \end{pmatrix} & V5 = \begin{pmatrix} 5400.9 & 6468.4 \\ 5504.8 & 6302.3 \\ 5574.5 & 5980.1 \\ 5648.7 & 6179.7 \\ 5712.1 & 6653.9 \\ 5819.5 & 7055 \\ 5857.8 & 6798.4 \end{pmatrix} \\
 \\
 W3 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 9786.3 \\ 5505.8 & 14271 \\ 5575.4 & 16274 \\ 5649.6 & 15752 \\ 5713.0 & 16965 \\ 5820.4 & 22285 \\ 5858.1 & 17497 \end{pmatrix} & W4 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 16123 \\ 5504.8 & 19281 \\ 5574.9 & 17876 \\ 5649.6 & 14873 \\ 5712.1 & 14120 \\ 5819.5 & 16683 \\ 5857.8 & 12720 \end{pmatrix} & W5 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 7362.2 \\ 5504.8 & 7741.4 \\ 5574.5 & 8580.1 \\ 5648.7 & 7699.7 \\ 5712.1 & 10069 \\ 5819.5 & 19594 \\ 5857.8 & 12773 \end{pmatrix} & (2) \\
 \\
 S3 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 544.1 \\ 5505.8 & 1529.3 \\ 5575.4 & 2722.1 \\ 5649.6 & 1519.4 \\ 5713.0 & 2517.5 \\ 5820.4 & 8702.2 \\ 5858.1 & 4656.4 \end{pmatrix} & S4 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 779.2 \\ 5505.8 & 1094.0 \\ 5574.9 & 1554.7 \\ 5649.6 & 617.6 \\ 5712.1 & 1526.4 \\ 5819.5 & 6057.2 \\ 5857.8 & 2770.0 \end{pmatrix} & S5 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 893.8 \\ 5504.8 & 1439.1 \\ 5574.5 & 2600.0 \\ 5648.7 & 1520.0 \\ 5712.1 & 3415.1 \\ 5819.5 & 12539.0 \\ 5857.8 & 5974.6 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

В матрицах V0, V1, V2 (1) и V3, V4, V5 (2) представлены фоновые люминесцентные составляющие спектрограмм образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1, а – А4(Е4)). В первых столбцах приведены волновые числа, указывающие расположение пи-

ков спектрограмм по оси $E_{i,0}$. Во вторых столбцах приведены интенсивности фоновых составляющих под пиками спектрограмм которые были получены вычитанием интенсивности пиков без фоновых составляющих S из интенсивности пиков совместно с фоновыми составляющими W по формулам

$$V0_{i,1} := W0_{i,1} - S0_{i,1}; V1_{i,1} := W1_{i,1} - S1_{i,1}; V2_{i,1} := W2_{i,1} - S2_{i,1} \quad (3)$$

$$V3_{i,1} := W3_{i,1} - S3_{i,1}; V4_{i,1} := W4_{i,1} - S4_{i,1}; V5_{i,1} := W5_{i,1} - S5_{i,1} \quad (4)$$

Аналогичным образом были получены матрицы W7, W8, W9; S7, S8, S9; V7, V8,

V9 для образцов с наночастицами серебра, высушенных в шкафу.

Оценка параметров полученных матриц проведена по:

$$\begin{aligned}
 & YV_i := (V0_{i,1} + V1_{i,1} + V2_{i,1})/3; \\
 & YV1_i := (V3_{i,1} + V4_{i,1} + V5_{i,1})/3; \quad YV2_i := (V7_{i,1} + V8_{i,1} + V9_{i,1})/3; \\
 & \sigma\Delta012V_i := \{[(V0_{i,1} - YV_i)^2 + (V1_{i,1} - YV_i)^2 + (V2_{i,1} - YV_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta345V_i := \{[(V3_{i,1} - YV1_i)^2 + (V4_{i,1} - YV1_i)^2 + (V5_{i,1} - YV1_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta789V_i := \{[(V7_{i,1} - YV2_i)^2 + (V8_{i,1} - YV2_i)^2 + (V9_{i,1} - YV2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (5) \\
 & YW_i := (W0_{i,1} + W1_{i,1} + W2_{i,1})/3; \\
 & YW1_i := (W3_{i,1} + W4_{i,1} + W5_{i,1})/3; \quad YW2_i := (W7_{i,1} + W8_{i,1} + W9_{i,1})/3; \\
 & \sigma\Delta012W_i := \{[(W0_{i,1} - YW_i)^2 + (W1_{i,1} - YW_i)^2 + (W2_{i,1} - YW_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta345W_i := \{[(W3_{i,1} - YW1_i)^2 + (W4_{i,1} - YW1_i)^2 + (W5_{i,1} - YW1_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta789W_i := \{[(W7_{i,1} - YW2_i)^2 + (W8_{i,1} - YW2_i)^2 + (W9_{i,1} - YW2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (6) \\
 & YS_i := (S0_{i,1} + S1_{i,1} + S2_{i,1})/3; \\
 & YS1_i := (S3_{i,1} + S4_{i,1} + S5_{i,1})/3; \quad YS2_i := (S7_{i,1} + S8_{i,1} + S9_{i,1})/3; \\
 & \sigma\Delta012S_i := \{[(S0_{i,1} - YS_i)^2 + (S1_{i,1} - YS_i)^2 + (S2_{i,1} - YS_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta345S_i := \{[(S3_{i,1} - YS1_i)^2 + (S4_{i,1} - YS1_i)^2 + (S5_{i,1} - YS1_i)^2]/3\}^{0.5}; \\
 & \sigma\Delta789S_i := \{[(S7_{i,1} - YS2_i)^2 + (S8_{i,1} - YS2_i)^2 + (S9_{i,1} - YS2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (7)
 \end{aligned}$$

По формулам (5)-(7) получены значения математических ожиданий интенсивностей каждого пика спектрограмм волокон без наночастиц YV_i , YW_i , YS_i и с наночастицами $YV1_i$, $YV2_i$, $YS1_i$, $YS2_i$. Также оценены по формулам (5)-(7) средние квадратические отклонения интенсивностей каждого пика спектрограмм волокон без наночастиц $\sigma\Delta012V_i$, $\sigma\Delta012W_i$, $\sigma\Delta012S_i$ и с наночастицами $\sigma\Delta345V_i$, $\sigma\Delta345W_i$, $\sigma\Delta345S_i$, $\sigma\Delta789V_i$, $\sigma\Delta789W_i$, $\sigma\Delta789S_i$.

Оценку достоверности контроля наличия наночастиц серебра было предложено проводить по вероятности соприкосновения распределений интенсивностей спектрограмм с учетом информационной неопределенности (нечеткой логики) при принятии решения о наличии наночастиц. Параметры распределений интенсивностей пиков (для примера пика 1 с $i=0$) спектрограмм волокна как с наночастицами, высушенного в естественных условиях, так и без наночастиц, приведены на рис. 2.

Здесь видно, что математические ожидания интенсивностей спектрограмм ПЭ волокон по пикам с $i=0...6$ при влиянии наночастиц серебра линии 1 превышают линии 7 математических ожиданий пиков спектрограмм ПЭ волокон без наночастиц во всем диапазоне изменений $i=0...6$.

Также не пересекаются линии 3 минимальных значений интенсивностей пиков с $i=0...6$ фоновых составляющих с наночастицами серебра: а – $V5_{i,1}$ и исходных б – $W5_{i,1}$ с линиями 6 максимальных значений интенсивностей пиков с $i=0...6$ фоновых составляющих без наночастиц золота: а – $V2_{i,1}$ и исходных б – $W2_{i,1}$.

Оценка многомерной достоверности контроля наночастиц серебра на поверхности ПЭ волокна осуществлялась определением точки пересечения смоделированной линии максимального разброса интенсивностей пиков 4 при соприкосновении с линией минимального разброса распределения интенсивностей 5 для каждого пика.

Для определения коэффициента y_i , используемого при вычислении точки пересечения линий 4 и 5, был предложен метод, реализованный в системе MathCAD:

$$\begin{aligned}
 Y_{vli} & := \frac{YV1_i - YV_i}{\sigma\Delta345V_i + \sigma\Delta012V_i}; \\
 Y_{wli} & := \frac{YW1_i - YW_i}{\sigma\Delta345W_i + \sigma\Delta012W_i}; \\
 Y_{sli} & := \frac{YS1_i - YS_i}{\sigma\Delta345S_i + \sigma\Delta012S_i}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

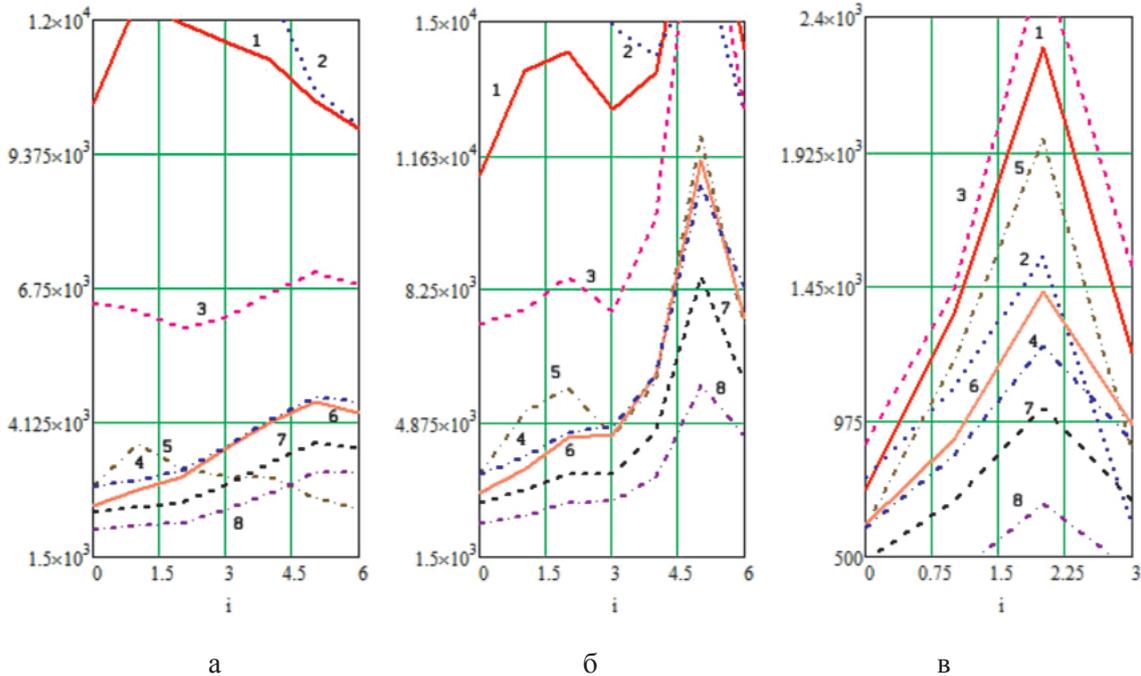


Рис. 2. Графики зависимостей интенсивностей параметров пиков спектрограмм, построенные по матрицам (1), (2) и по моделям (5)-(7) для пика с $i = 0$:
 а – фоновых составляющих; б – исходных спектрограмм;
 в – спектрограмм без фоновых составляющих:

1 – линия математических ожиданий интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ с наночастицами серебра: а – $YUYV1_p$, б – $YUYW1_p$, в – $YUY S1_p$; 2 – линия максимальных значений интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ с наночастицами серебра: а – $V3_{i,p}$, б – $W3_{i,p}$, в – $S3_{i,p}$; 3 – линия минимальных значений интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ с наночастицами серебра: а – $V4_{i,p}$, б – $W4_{i,p}$, в – $S4_{i,p}$; 4 – смоделированная линия максимального разброса распределения интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$: а – $YYV_i + y_i \sigma \Delta 012 V_i$; б – $YYW_i + y_i \sigma \Delta 012 W_i$; в – $YYS_i + y_i \sigma \Delta 012 S_i$; 5 – смоделированная линия минимального разброса распределения интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$: а – $YYV_i - y_i \sigma \Delta 345 V_i$; б – $YYW_i - y_i \sigma \Delta 345 W_i$; в – $YYS_i - y_i \sigma \Delta 345 S_i$; 6 – линия максимальных значений интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ без наночастиц серебра: а – $V2_{i,p}$, б – $W2_{i,p}$, в – $S2_{i,p}$; 7 – линия математических ожиданий интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ без наночастиц серебра: а – YV_p , б – YW_p , в – YS_p ; 8 – линия минимальных значений интенсивностей пиков с $i = 0 \dots 6$ без наночастиц серебра: а – $V0_{i,p}$, б – $W0_{i,p}$, в – $S0_{i,p}$; y_i – коэффициент максимального разброса нормального распределения интенсивностей

Оценка достоверности в системе MathCAD проводится по следующим выражениям:

$$p1_i = 1 - \text{pnorm}(YUYV_i - y_i \sigma \Delta 101112 V_i, YUYV_i, \sigma \Delta 10111 V_i),$$

$$p2_i = \text{pnorm}(YYV_i + y_i \sigma \Delta 012 V_i, YYV_i, \sigma \Delta 012 V_i). \quad (9)$$

По выражениям (8)–(9) были получены значения y_i , $p1_i$, $p2_i$ для всех составляющих рамановских спектрограмм. Результаты оценки достоверности контроля наночастиц золота на ПЭ волокнах по (9) приведены на рис. 3.

Данные достоверности контроля наличия наночастиц серебра по фоновым составляющим приведены на рис. 2, а. Диапазон значений достоверности меняется от 0.93 для пика с $i = 6$ до 0.98 для пика с $i = 5$. Эти значения показывают очень высокую достоверность контроля наличия наночастиц серебра на ПЭ волокнах.

Оценка достоверности контроля наличия наночастиц серебра по исходным спектрограммам с учетом пиков и фоновых составляющих приведена на рис. 2, б. Диапазон значений достоверности меняется от 0.965 для пика с $i = 6$ до 0.989 для пика с $i = 5$. Эти значения показывают очень высокую достоверность контроля наличия наночастиц серебра.

Контроль наличия наночастиц серебра только по пикам спектрограмм без учета фоновых составляющих дает самую низкую достоверность, и значения приведены на рис. 2, в. Диапазон значений достоверности меняется от 0.816 для пика с $i = 3$ до 0.988 для пика с $i = 2$.

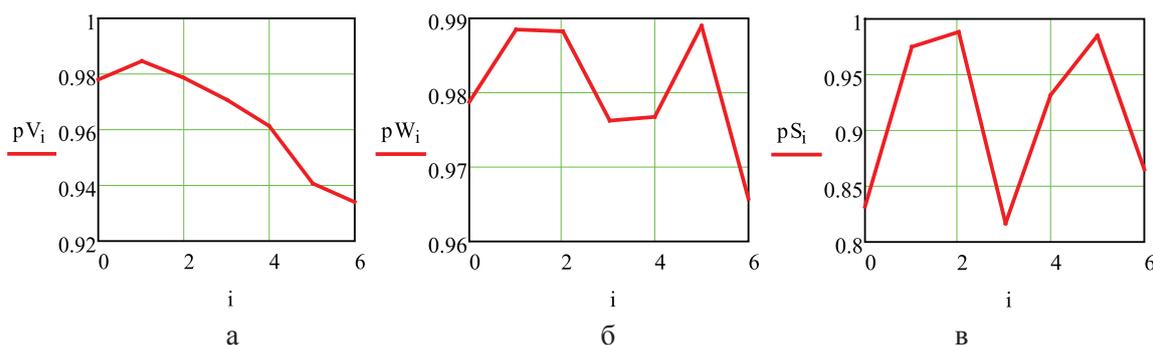


Рис. 3. Достоверность контроля наличия наночастиц серебра: а – по фоновым составляющим спектрограмм; б – по пикам с фоновыми составляющими спектрограмм; в – по пикам без фоновых составляющих спектрограмм

Были определены значения достоверностей контроля по обобщенным значениям параметров общих для $i = 0 \dots 6$ распределений, которые по фоновым составляющим, по исходным спектрограммам и только по пикам имеют следующие значения: $P\xi_v = 0.975$, $P\xi_w = 0.98$, $P\xi_s = 0.753$.

Из этих обобщенных данных видно, что наибольшую достоверность имеет метод контроля по фоновым составляющим, а самая низкая достоверность получена при контроле по пикам спектрограмм без учета фоновых составляющих.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в качестве методики контроля наночастиц серебра можно рекомендовать определение многомерной достоверности по фоновым составляющим на основе построенных математических моделей, на базе которых следует проводить разработку автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Работа выполнена в рамках гранта по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (соглашение № 14.В37.21.0063) в НОЦ-Нанoeлектроника на оборудовании регионального центра нанотехнологий ЮЗГУ и института физики твердого тела РАН.

Список литературы

1. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю. Математическое моделирование составляющих рамановских спектрограмм при контроле процесса нанесения наночастиц золота 10 нм Au // «Нанотехнологии-производству 2013»: тезисы докладов IX-й научно-практической конференции. – М.: Концерн «Наноиндустрия», 2013. – С. 105–109.
2. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю. Математическое моделирование составляющих рамановских спектрограмм при контроле процесса нанесения наночастиц золота 10 нм Au // Нанотехника. – 2013. – № 2. – С. 81–87.
3. Emeljanov V.M., Dobrovol'skaja T., Danilova S., Emeljanov V., Orlov E. Identification of silver nanoparticles on

polyester fiber on Raman spectrograms of the in the conditions of information uncertainty // Open Journal of Metal. – 2013 – Vol. 3. – № 3. – P. 29–33. URL: <http://www.scirp.org/journal/ojmetal>.

4. Novoselov and A.C. Ferrari. Surface Enhanced Raman Spectroscopy of Graphene / F. Schedin, E. Lidorikis, A. Lombardo, V.G. Kravets, A.K. Geim, A.N. Grigorenko, K.S.. URL: http://www-g.eng.cam.ac.uk/nms/publications/pdf/Schedin_Arxiv_2010.

5. Jin Wang, Ling Tao Kong, Zheng Guo, JingYao Xu and JinHuai Liu. Synthesis of novel decorated one-dimensional gold nanoparticle and its application in ultrasensitive detection of insecticide// Journal of Materials Chemistry. – 2010. – Vol. 20. – Issue 25. P. 5271 <http://www.scirp.org/journal/ojmetal/5279>. URL: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/jm/index.asp>.

References

1. Emeljanov V.M., Dobrovol'skaya T.A., Emeljanov V.V., Orlov E.Yu. Mathematical modeling of making Raman spectrograms at control of process of drawing nanoparticles of gold of 10 nanometers of Au. «Nanotechnologies Productions 2013». Theses of reports at the IX-th Scientific and practical conference. Moscow, Concern «Nanoindustry», 2013, pp. 105-109.
2. Emeljanov V. M., Dobrovol'skaya T. A., Emeljanov V.V., Orlov E.Yu. Mathematical modeling of making Raman spectrograms at control of process of drawing nanoparticles of gold of 10 nanometers of Au. Nanoequipment, 2013, no 7, pp. 81–87.
3. Emeljanov V.M., Dobrovol'skaja T., Danilova S., Emeljanov V., Orlov E. Identification of silver nanoparticles on polyester fiber on Raman spectrograms of the in the conditions of information uncertainty. Open Journal of Metal, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 29–33. URL: <http://www.scirp.org/journal/ojmetal>.
4. F. Schedin, E. Lidorikis, A. Lombardo, V.G. Kravets, A.K. Geim, A.N. Grigorenko, K.S. Novoselov and A.C. Ferrari. Surface Enhanced Raman Spectroscopy of Graphene. URL: http://www-g.eng.cam.ac.uk/nms/publications/pdf/Schedin_Arxiv_2010.
5. Jin Wang, Ling Tao Kong, Zheng Guo, JingYao Xu and JinHuai Liu., Synthesis of novel decorated one-dimensional gold nanoparticle and its application in ultrasensitive detection of insecticide. Journal of Materials Chemistry, 2010, vol. 20, issue 25, pp. 5271–5279. URL: <http://www.rsc.org/Publishing/Journals/jm/index.asp>.

Рецензенты:

Сизов А.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГУП 18 ЦНИИ НИЦ МО РФ, г. Курск;

Кузьменко А.П., д.ф.-м.н., профессор, директор регионального центра нанотехнологий Юго-Западного государственного университета, г. Курск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.