

УДК 51-74:677.03

## ДОСТОВЕРНОСТЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РАМАНОВСКИМ СПЕКТРАМ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ

Добровольская Т.А., Емельянов В.М., Емельянов В.В., Бутов К.В.

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

Приведены результаты оценки достоверности режимов термообработки полиэфирных волокон с поляризационными характеристиками составляющих рамановских спектров. Для выявления достоверности идентификации волокон проведено математическое моделирование данных спектрограмм по обобщенным математическим ожиданиям, средним квадратическим отклонениям, а также вероятностям соприкосновения линий максимальных распределений составляющих спектрограмм. Достоверность оценивалась по совместной вероятности нормальных распределений интенсивностей рамановских спектрограмм как при сушке в термошкафу, так и при сушке в естественных условиях, в зависимости от продольной и поперечной поляризации лазерного излучения по всему диапазону изменений волновых чисел. В результате были получены значения достоверности идентификации режимов термообработки волокон по составляющим рамановских спектров. Разработанный авторами метод позволит определять параметры законов распределения интенсивностей рамановского спектра по каждому значению во всем диапазоне волновых чисел как для спектрограмм вдоль, так и поперек волокон.

**Ключевые слова:** полиэфирное волокно, рамановские спектры, поляризационные характеристики рамановской спектроскопии, математическое моделирование спектров, фоновые люминесцентные составляющие рамановских спектров, достоверность контроля, вероятность пересечения разбросов нормальных распределений

## RELIABILITY OF IDENTIFICATION OF THE MODES OF HEAT TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS ON THE RAMAN RANGES BEFORE DRAWING NANOPARTICLES

Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.M., Emelyanov V.V., Butov K.V.

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

Results of an assessment of reliability of the modes of heat treatment of polyester fibers with polarizing characteristics of the making Raman ranges are given. For detection of reliability of identification of fibers mathematical modeling of these spectrograms on the generalized mathematical expectations, average quadratic deviations, and also probabilities of contact of lines of the maximum distributions of the making spectrograms is carried out. Reliability was estimated on joint probability of normal distributions of intensiveness of the Raman spectrograms both when drying in a thermocase, and when drying under natural conditions, depending on longitudinal and cross polarization of laser radiation on all range of changes of wave numbers. Values of reliability of identification of the modes of heat treatment of fibers on components of the Raman ranges were as a result received. The method developed in work will allow to determine parameters of laws of distribution of intensiveness of the Raman range by each value in all range of wave numbers both for spectrograms lengthways, and across fibers.

**Keywords:** polyester fiber, the Raman ranges, polarizing characteristics of the Raman spectroscopy, mathematical modeling of ranges, background luminescent components of the Raman ranges, reliability of control, probability of crossing of dispersions of normal distributions

Для обеспечения контроля проведения термообработки полиэфирных волокон перед нанесением наночастиц серебра или золота необходимо оценить достоверность режимов технологического процесса обработки по времени при определенной температуре.

В работах [1–8] приведена и обоснована методика оценки достоверности наличия наночастиц серебра и золота на волокнах полиэфира, но достоверно идентифицировать волокна, прошедшие термообработку, из-за малоизменяемой их структуры затруднено. Цель работы – разработка методов, позволяющих с высокой достоверностью различить текстильные материалы, прошедшие термообработку, по поляризационным характеристикам рамановских спектров

с использованием многомерных методов оценки достоверности.

### Материал и методы исследования

При проведении эксперимента выбраны полиэфирные волокна (ПЭ) из-за высокой чувствительности и малого количества пиков рамановского спектра. Измерения проведены на образце № 33 при сушке в естественных условиях и № 37 при сушке в термошкафу при повышенной температуре. Из-за большого разброса значений интенсивностей спектра на каждом образце проведены измерения в 5 точках с поляризацией лазерного луча поперек X и вдоль Y волокон с использованием сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) с конфокальным рамановским и флуоресцентным спектрометром OmegaScore™.

Обработка данных осуществлялась в математической программе Mathcad. Оценка параметров

распределения проведена по математическим ожиданиям (1), (3), (5), по средним квадратическим отклонениям (2), (4), (6):

$$\begin{aligned} \text{MENX1Au33}_i &:= \text{mean}(E0X1Au33^{(i)}), \\ \text{MENX2Au33}_i &:= \text{mean}(E0X2Au33^{(i)}), \\ \text{MENY1Au33}_i &:= \text{mean}(E0Y1Au33^{(i)}), \\ \text{MENY2Au33}_i &:= \text{mean}(E0Y2Au33^{(i)}). \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma\Delta\text{ENX1Au33}_i &:= \text{stdev}(E0X1Au33^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENX2Au33}_i &:= \text{stdev}(E0X2Au33^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENY1Au33}_i &:= \text{stdev}(E0Y1Au33^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENY2Au33}_i &:= \text{stdev}(E0Y2Au33^{(i)}). \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{MENX1Au37}_i &:= \text{mean}(E0X1Au37^{(i)}), \\ \text{MENX2Au37}_i &:= \text{mean}(E0X2Au37^{(i)}), \\ \text{MENY1Au37}_i &:= \text{mean}(E0Y1Au37^{(i)}), \\ \text{MENY2Au37}_i &:= \text{mean}(E0Y2Au37^{(i)}). \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma\Delta\text{ENX1Au37}_i &:= \text{stdev}(E0X1Au37^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENX2Au37}_i &:= \text{stdev}(E0X2Au37^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENY1Au37}_i &:= \text{stdev}(E0Y1Au37^{(i)}), \\ \sigma\Delta\text{ENY2Au37}_i &:= \text{stdev}(E0Y2Au37^{(i)}). \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{MENX}_{33}_{ii} &:= \text{mean}(X1_{33}^{(ii)}), \\ \text{MENY}_{33}_{ii} &:= \text{mean}(Y1_{33}^{(ii)}), \\ \text{MENX}_{37}_{ii} &:= \text{mean}(X1_{37}^{(ii)}), \\ \text{MENY}_{37}_{ii} &:= \text{mean}(Y1_{37}^{(ii)}). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma\Delta X_{33}_{ii} &:= \text{stdev}(X1_{33}^{(ii)}), \\ \sigma\Delta Y_{33}_{ii} &:= \text{stdev}(Y1_{33}^{(ii)}), \\ \sigma\Delta X_{37}_{ii} &:= \text{stdev}(X1_{37}^{(ii)}), \\ \sigma\Delta Y_{37}_{ii} &:= \text{stdev}(Y1_{37}^{(ii)}). \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{MENX1Au33}_i - yX1_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENX1Au33}_i, \text{MENX1Au37}_i - yX1_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENX1Au37}_i,$$

а также и для

$$\text{MENY1Au33}_i - yY1_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENY1Au33}_i, \text{MENY1Au37}_i - yY1_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENY1Au37}_i$$

и их комбинаций.

Соприкосновение линий распределений выявляется при моделировании путем определения коэффициентов  $y_i$  так, чтобы эти линии соприкасались в одной для каждой точки из  $i = 0 \dots n$  [4]:

$$\begin{aligned} yX1_{33}_{37}_i &:= (\text{MENX1Au33}_i - \text{MENX1Au37}_i) / (\sigma\Delta\text{ENX1Au33}_i + \sigma\Delta\text{ENX1Au37}_i), \\ yX2_{33}_{37}_i &:= (\text{MENX2Au33}_i - \text{MENX2Au37}_i) / (\sigma\Delta\text{ENX2Au33}_i + \sigma\Delta\text{ENX2Au37}_i), \\ yY1_{33}_{37}_i &:= (\text{MENY1Au33}_i - \text{MENY1Au37}_i) / (\sigma\Delta\text{ENY1Au33}_i + \sigma\Delta\text{ENY1Au37}_i), \\ yY2_{33}_{37}_i &:= (\text{MENY2Au33}_i - \text{MENY2Au37}_i) / (\sigma\Delta\text{ENY2Au33}_i + \sigma\Delta\text{ENY2Au37}_i). \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} yX_{33}_{37}_{ii} &:= (\text{MENX}_{33}_{ii} - \text{MENX}_{37}_{ii}) / (\sigma\Delta X_{33}_{ii} + \sigma\Delta X_{37}_{ii}), \\ yY_{33}_{37}_{ii} &:= (\text{MENY}_{33}_{ii} - \text{MENY}_{37}_{ii}) / (\sigma\Delta Y_{33}_{ii} + \sigma\Delta Y_{37}_{ii}). \end{aligned} \quad (8)$$

Оценка достоверности для режимов термообработки проводится по выражениям

$$\begin{aligned} pX1_{33}_{37}_i &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENX1Au33}_i - yX1_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENX1Au33}_i, \text{MENX1Au33}_i, \sigma\Delta\text{ENX1Au33}_i), \\ pX2_{33}_{37}_i &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENX2Au33}_i - yX2_{33}_{37}_i \cdot \sigma\Delta\text{ENX2Au33}_i, \text{MENX2Au33}_i, \sigma\Delta\text{ENX2Au33}_i), \end{aligned}$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что параметры распределений интенсивностей спектрограмм волокон как с термообработкой, так и с сушкой в естественных условиях существенно различаются.

Здесь видно, что математические ожидания интенсивностей спектрограмм ПЭ волокон при поляризации вдоль волокон в несколько раз превышают математические ожидания интенсивностей спектрограмм ПЭ волокон при поляризации поперек волокон. Причем это явление относится как для интенсивностей по пикам с фоновыми составляющими, так и для пиков спектрограмм без фоновых составляющих.

Для средних квадратических отклонений интенсивностей спектрограмм ПЭ волокон при поляризации вдоль волокон выявлено явное превышение по сравнению со значениями при поляризации поперек волокон. Также можно характеризовать это явление и для интенсивностей по пикам с фоновыми составляющими, так и для пиков спектрограмм без фоновых составляющих.

Для количественной оценки различий интенсивностей спектрограмм при проведении сушки в термошкафу при повышенной температуре и в естественных условиях необходимо рассмотреть достоверность контроля по вероятности соприкосновения линий предельных отклонений с коэффициентом  $y_i$ :

$$\begin{aligned}
 pY1_{33_37_i} &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENY1Au33}_i - yY1_{33_37_i} \cdot \sigma \Delta \text{ENY1Au33}_i, \text{MENY1Au33}_i, \sigma \Delta \text{ENY1Au33}_i), \\
 pY2_{33_37_i} &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENY2Au33}_i - yY2_{33_37_i} \cdot \sigma \Delta \text{ENY2Au33}_i, \text{MENY2Au33}_i, \sigma \Delta \text{ENY2Au33}_i), \\
 pX_{33_37_{ii}} &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENX}_{33_{ii}} - yX_{33_37_{ii}} \cdot \sigma \Delta X_{33_{ii}}, \text{MENX}_{33_{ii}}, \sigma \Delta X_{33_{ii}}), \\
 pY_{33_37_{ii}} &:= 1 - \text{pnorm}(\text{MENY}_{33_{ii}} - yY_{33_37_{ii}} \cdot \sigma \Delta Y_{33_{ii}}, \text{MENY}_{33_{ii}}, \sigma \Delta Y_{33_{ii}}). \quad (9)
 \end{aligned}$$

Совместно для режимов сушки при поляризации поперек и вдоль волокон для разных диапазонов частот лазера оценивается достоверность по следующим выражениям:

$$\begin{aligned}
 pX1Y1_{33_37_i} &:= 1 - (1 - pX1_{33_37_i}) \cdot (1 - pY1_{33_37_i}), \\
 pX2Y2_{33_37_i} &:= 1 - (1 - pX2_{33_37_i}) \cdot (1 - pY2_{33_37_i}). \quad (10)
 \end{aligned}$$

По уравнению (11) оценивается достоверность совместно для режимов сушки при поляризации поперек и вдоль волокон с использованием полной группы событий:

$$pXY33_{37_{ii}} := 1 - (1 - pX33_{37_{ii}}) \cdot (1 - pY33_{37_{ii}}). \quad (11)$$

Результаты определения достоверностей по вышеуказанным выражениям приведены на рис. 1–3.

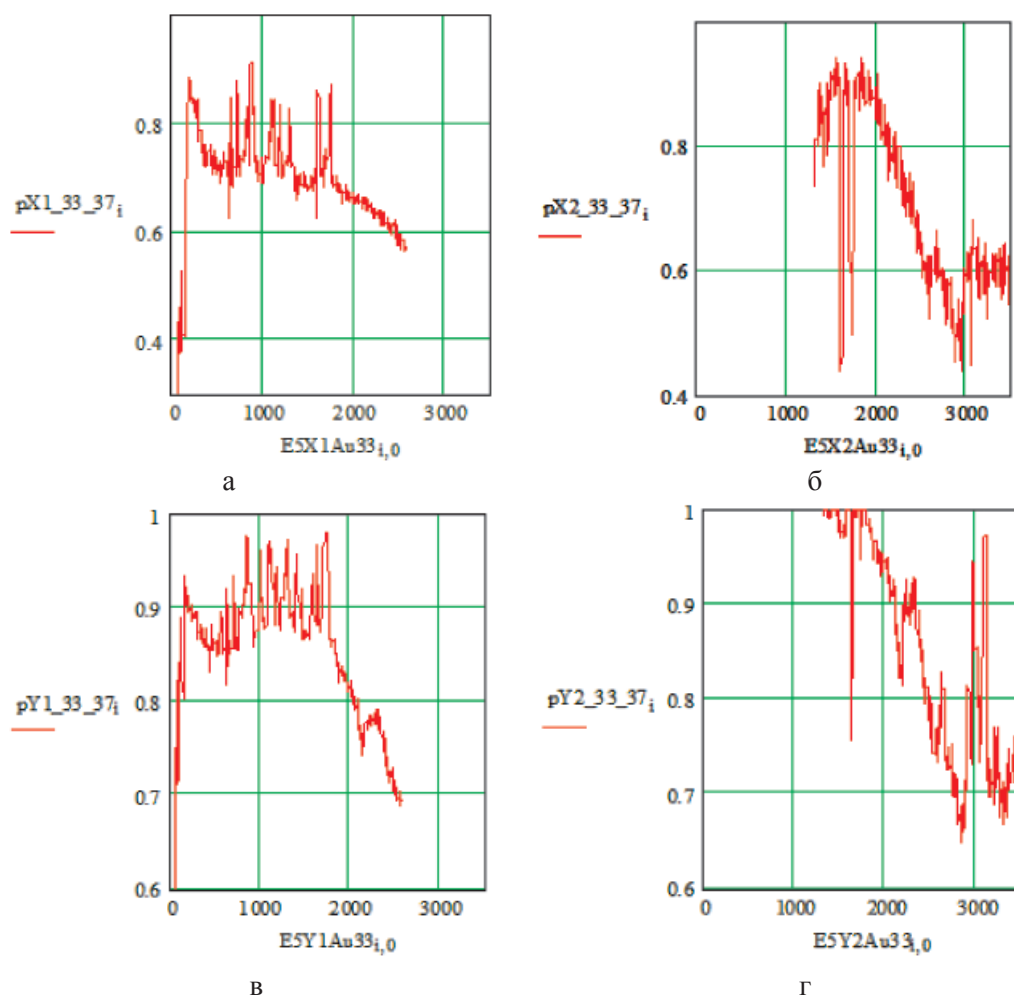


Рис. 1. Достоверность идентификации при контроле режимов термообработки в локальных областях диапазона волновых чисел:

- а* – поляризация поперек волокон в диапазоне частот  $E5X1Au33_{i,0} = 54,3\text{--}2558,5 \text{ см}^{-1}$ ;
- б* – поляризация поперек волокон в диапазоне частот  $E5X2Au33_{i,0} = 1318,8\text{--}3110 \text{ см}^{-1}$ ;
- в* – поляризация вдоль волокон в диапазоне частот  $E5Y1Au33_{i,0} = 54,3\text{--}2558,5 \text{ см}^{-1}$ ;
- г* – поляризация вдоль волокон в диапазоне частот  $E5Y2Au33_{i,0} = 1318,8\text{--}3518,7 \text{ см}^{-1}$

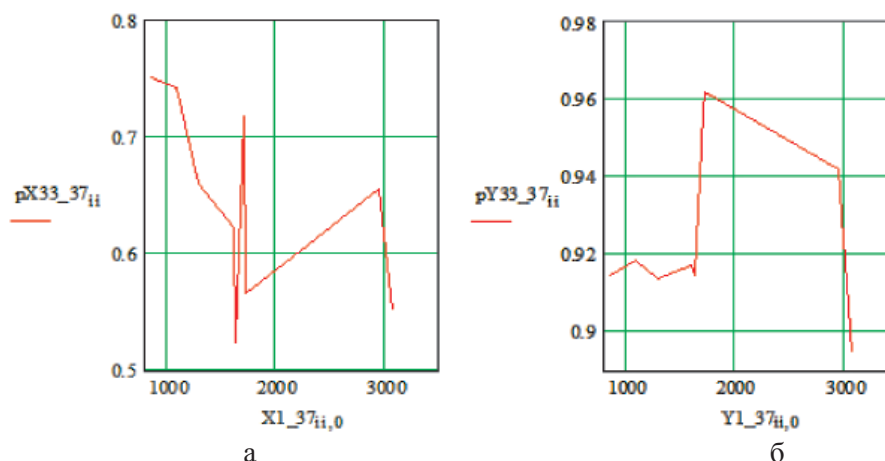


Рис. 2. Достоверность идентификации при контроле режимов термообработки во всем диапазоне волновых чисел по пикам без фоновых составляющих спектрограмм: а – при поляризации поперек волокон; б – при поляризации вдоль волокон

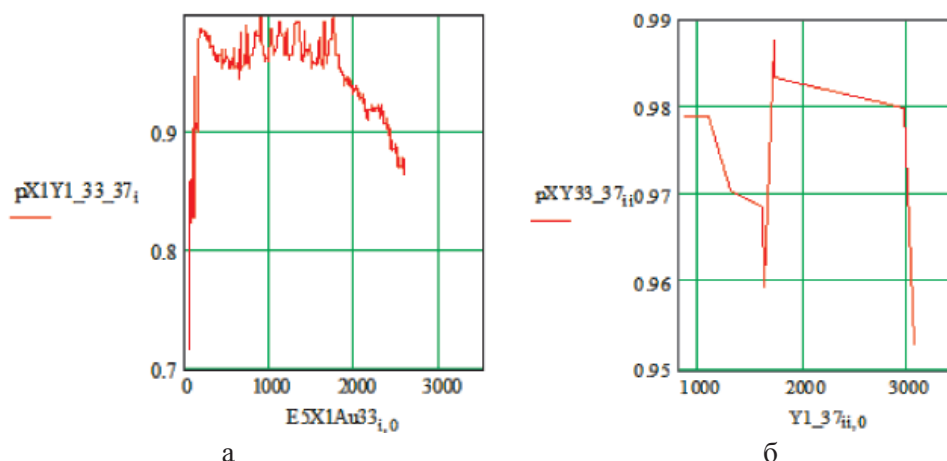


Рис. 3. Достоверность идентификации при контроле режимов термообработки с учетом поляризации одновременно и вдоль и поперек волокон: а – полный спектр в 1-м диапазоне волновых чисел; б – во всем диапазоне волновых чисел по пикам

### Выводы

1. В связи с большим разбросом значений информационных параметров при контроле полиэфирных волокон и значительной неопределенностью в закономерностях их проявления наиболее подходящим является метод оценки достоверности контроля и их идентификации при одновременном учете поляризации лазерного излучения вдоль и поперек волокон.

2. Разработан метод определения параметров законов распределения интенсивностей рамановского спектра по каждому значению во всем диапазоне волновых чисел как для спектрограмм вдоль, так и поперек волокон, обработанных в сушильном шкафу.

3. Для выявления достоверности идентификации волокон проведено математическое моделирование данных спектрограмм по обобщенным математическим ожиданиям и средним квадратическим отклонениям, а также обобщенным вероятностям сопри-

косновения линий максимальных распределений составляющих спектрограмм.

4. При устранении неопределенности и выявления закономерностей в распределении параметров спектрограмм проведена оценка совместных параметров распределений интенсивностей спектрограмм в зависимости от волновых чисел (частоты) как составляющих спектрограмм при излучении лазера вдоль волокон, так и поперек при термообработке и в исходном состоянии.

5. Оценены многомерные параметры: математические ожидания, средние квадратические отклонения спектральных составляющих для волокон при поляризации лазера вдоль и поперек волокон.

6. Многомерная достоверность контроля и идентификации наночастиц на ПЭ волокне выявлена по вероятности соприкосновения линий максимальных распределений данных составляющих спектрограмм и пиков интенсивностей для волокон с термообработкой



и сушкой в естественных условиях при поляризации лазера вдоль и поперек волокон.

7. Минимальное значение достоверности идентификации при контроле волокон с термообработкой с учетом поляризации одновременно и вдоль и поперек волокон по пикам интенсивностей спектрограмм по всему диапазону волновых чисел дает высокое значение в пределах 0,95277.

8. Достоверность идентификации суши при разных режимах с контролем начального диапазона волновых чисел до первого информационного пика 165,1–189,72 см<sup>-1</sup> дает высокие значения в пределах 0,89066–0,93349. И этот пик нужно учитывать при идентификации из-за того, что при обработке одновременно поляризации вдоль и поперек волокон получаем достоверность 0,98879 на частоте 177,41 см<sup>-1</sup>.

9. Для информационной области волновых чисел 1606–1730 см<sup>-1</sup>, определяемой по максимальной чувствительности, достоверность идентификации высокая.

10. При сравнении продольных и поперечных составляющих выявлено, что достоверность по продольным составляющим выше.

11. Достоверность идентификации режимов термообработки волокон одновременно по пикам и по фоновым составляющим выше, чем только по пикам.

#### 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 // Нанотехника. – 2013. – № 2. – С. 81–87.
2. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Данилова С.А., Емельянов В.В., Бутов К.В., Орлов Е.Ю. Разработка методики выявления достоверности контроля наночастиц серебра на полиэфирных волокнах по фоновым составляющим рамановских спектрограмм в условиях информационной неопределенности // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей Международной научно-практической конференции – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 25–29.
3. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Данилова С.А., Емельянов В.В., Бутов К.В., Орлов Е.Ю. Оценка многомерной достоверности контроля наличия наночастиц серебра на полиэфирных волокнах по исходным рамановским спектрограммам в условиях информационной неопределенности // Физика и технология наноматериалов и структур: сборник научных статей Международной научно-практической конференции – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 39–42.
4. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Данилова С.А., Емельянов В.В., Бутов К.В., Орлов Е.Ю. Идентификация наночастиц серебра и золота на полиэфирных волокнах при контроле по поляризационным характеристикам составляющих рамановских спектров // Науковедение. – 2013. – вып. 6(19). URL: www.naukovedenie.ru.
5. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Еськова Н.Ю. Компьютерное моделирование рамановских спектрограмм полиэфирных волокон при контроле наночастиц серебра в условиях информационной неопределенности // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: материалы 3-й научно-практической интернет-конференции. – Ульяновск: Тольяттинский государственный университет, 2014. – С. 179–183.
6. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Авилова И.А., Данилова С.А., Емельянов В.В., Бутов К.В., Орлов Е.Ю., Еськова А.С., Еськова Н.Ю. Повышение достоверности контроля наночастиц серебра и золота на полиэфирных волокнах по пикам поляризационных характеристик рамановских спектров без фоновых составляющих // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материалovedения, оборудование и аналитические системы для материалovedения и наноматериалов: труды XI Международной конференции. – Курск: ЮЗГУ; НИТУ «МИСиС», 2014. – ч.1. – С. 49–55.
7. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Авилова И.А., Данилова С.А., Емельянов В.В., Бутов К.В., Орлов Е.Ю., Еськова А.С., Еськова Н.Ю. Проведение контроля по поляризационным характеристикам рамановских спектров при распознавании наночастиц серебра и золота на полиэфирных волокнах // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материалovedения и наноматериалов: труды XI Международной конференции. – Курск: ЮЗГУ; НИТУ «МИСиС», 2014. – ч.1. – С. 56–62.
8. Emeljanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.J. The control of gold nanoparticles on polyester fibers by Raman spectrograms in conditions of information uncertainty with detection accuracy // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2013 – Vol. 5. – № 4. – Part 1. – P. 04001-1 – 04001-5.

#### References

1. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Emeljanov V.V., Orlov E.Ju. Matematicheskoe modelirovanie sostavlajushhix ramanovskih spektrogramm pri kontrole processa nanosenija nanochastic zolota 10 nm Au // Nanotehnika. 2013. no. 2. pp. 81–87.
2. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.Ju. Razrabotka metodiki vyjavlenija dostovernosti kontrolja nanochastic serebra na polijefirnyh voloknah po fonovym sostavlajushhim ramanovskih spektrogramm v uslovijah informacionnoj neopredelennosti // Fizika i tehnologija nanomaterialov i struktur: sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferenciju Kursk: Jugo-Zap. gos. un-t, 2013. pp. 25–29.
3. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.Ju. Ocenka mnogomernoj dostovernosti kontrolja nalichija nanochastic serebra na polijefirnyh voloknah po ishodnym ramanovskim spektrogrammam v uslovijah informacionnoj neopredelennosti // Fizika i tehnologija nanomaterialov i struktur: sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferenciju Kursk: Jugo-Zap. gos. un-t, 2013. pp. 39–42.
4. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.Ju. Identifikacija nanochastic serebra i zolota na polijefirnyh voloknah pri kontrole po poljarizacionnym harakteristikam sostavlajushhix ramanovskih spektrov // Naukovedenie. 2013. vyp 6(19). URL: www.naukovedenie.ru.
5. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Emeljanov V.V., Eskova N.Ju. Kompjuternoe modelirovanie ramanovskih spektrogramm polijefirnyh volokon pri kontrole nanochastic serebra v uslovijah informacionnoj neopredelennosti // Mezhdisciplinarnye issledovanija v oblasti matematicheskogo modelirovanija i informatiki: materialy 3-j nauchno-prakticheskoj internet-konferencii. Uljanovsk: Toljattinskij gosudarstvennyj universitet, 2014. pp. 179–183.
6. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Avilova I.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.Ju., Eskova A.S., Eskova N.Ju. Povyshenie dostovernosti kontrolja nanochastic serebra i zolota na polijefirnyh voloknah po pikam poljarizacionnyh harakteristik ramanovskih spektrov bez fonovyh sostavlajushhix // Perspektivnye tehnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy dlja materialovedenija i nanomaterialov: trudy XI Mezhdunarodnoj konferencii. Kursk: JuZGU; NITU «MISiS», 2014. ch.1. pp. 49–55.
7. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Avilova I.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.Ju., Eskova A.S., Eskova N.Ju. Provedenie kontrolja po poljarizacionnym harakteristikam ramanovskih spektrov pri raspoznavanii nanochastic serebra i zolota na polijefirnyh voloknah // Perspektivnye tehnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy dlja materialovedenija i nanomaterialov: trudy XI Mezhdunarodnoj konferencii. Kursk: JuZGU; NITU «MISiS», 2014. ch.1. pp. 56–62.
8. Emeljanov V.M., Dobrovolskaja T.A., Danilova S.A., Emeljanov V.V., Butov K.V., Orlov E.J. The control of gold nanoparticles on polyester fibers by Raman spectrograms in conditions of information uncertainty with detection accuracy // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2013 Vol. 5. no 4. Part 1. pp. 04001-1 04001-5.

#### Рецензенты:

Сотников В.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Электроснабжение», Юго-Западный государственный университет, г. Курск;  
Кузьменко А.П., д.ф.-м.н., профессор, директор регионального центра нанотехнологий, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.