


Интенсификация обработки данных и получение новой информации по многомерным сигналам «электронного носа»

Александр Ю. Кобаев¹ alex_evr@mail.ru  0000-0003-0808-4766

Иван А. Мураховский¹ ivan335522@mail.ru

Татьяна А. Кучменко¹ tak1907@mail.ru  0000-0001-7812-9195

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия


Аннотация. В работе описаны подходы по оптимизации стадии обработки многомерных данных имитационных систем с интегральным аналитическим сигналом типа электронный нос. Представлены модели программирования в таблицах Excel для расчета дополнительных параметров качественного состава смеси газов и паров. Программирование электронных таблиц существенно упрощает обработку первичных данных набора сенсоров и позволяет быстро получить новые параметры для характеристики состава запаха проб. Представлены формулы для расчета 4х дополнительных характеристик: идентификационные параметры сорбции, кинетический параметр, сорбционный параметр для 3х сенсоров, массовая доля компонентов, преимущественно сорбирующихся на каждом сенсоре в массиве электронного носа, и параметра подобия Пирсона для наборов этих характеристик с целью сравнения многокомпонентного состава запаха анализируемых проб. На примере анализа запаха кожи человека показана возможность разработки программного обеспечения для личных девайсов. Программное обеспечение включает расчет характеристик по предложенным моделям и визуализацию их наборов для удобного восприятия необученными пользователями. Программное обеспечение позволяет быстро обработать данные от прибора, представить возможные причины отклонения состояния от среднестатистической нормы. Для набора идентификационных параметров сорбции определены границы численных значений, которые характеризуют нормальное функционирование организма в целом, отдельных органов и систем. При попадании расчетного параметра в эти границы на диаграмме состояния он закрашивается в зеленый цвет. Определены численные границы параметров и для аномальных состояний. При попадании значений расчетных параметров в эти интервалы, на сфере состояния зоны соответствующих параметров окрашиваются в желтый или красный цвета. Необученные пользователи легко воспринимают информацию без сложной обработки многомерных данных.

Ключевые слова: многомерные данные, аналитические системы, электронный нос, алгоритмы, программирование

Intensification of data processing and obtaining new information on multidimensional signals of the "electronic nose"

Alexandr Yu. Kobaev¹ alex_evr@mail.ru  0000-0003-0808-4766

Ivan A. Murakhovsky¹ ivan335522@mail.ru

Tatyana A. Kuchmenko¹ tak1907@mail.ru  0000-0001-7812-9195

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. This study describes the ways to optimize the stage of processing multidimensional data of simulation systems with an integrated analytical signal such as an electronic nose. Programming models are presented in Excel tables for calculating additional parameters of the qualitative composition of a mixture of gases and vapors. Programming spreadsheets greatly simplifies the processing of the initial data of a set of sensors and allows you to quickly get new parameters to characterize the composition of the smell of samples. The formulas for calculating 4 additional characteristics are presented: identification parameters of sorption, kinetic parameter, sorption parameter for 3 sensors, mass fraction of components, mainly sorbed on each sensor in the array of electronic nose, and Pearson's similarity parameter for sets of these characteristics in order to compare the multi-component composition of the odor analyzed samples. The example of analyzing the smell of human skin shows the possibility of developing software for personal devices. The software includes the calculation of the characteristics of the proposed models and the visualization of their sets for easy perception by untrained users. The software allows you to quickly process data from the device, to present the possible causes of the deviation of the state from the average statistical norms. For a set of identification parameters of sorption, the boundaries of numerical values are defined, which characterize the normal functioning of the organism as a whole, individual organs and systems. When a calculated parameter enters these boundaries in the state diagram, it is colored green. The numerical limits of parameters and for anomalous states are determined. When the values of the calculated parameters fall into these intervals, on the state sphere, the zones of the corresponding parameters are colored yellow or red. So, untrained users easily perceive information without complex processing of multi-dimensional data.

Keywords: multidimensional data, analytical systems, electronic nose, algorithms, programming

Введение

Современные методы аналитической химии основаны на измерении и обработке от двух – до многомерных сигналов. К многомерным аналитическим сигналам относятся отклики мультисенсорных систем типа искусственных «носа, глаза, языка». Для таких систем

не характерны, но возможны традиционные качественный (идентификация отдельных компонентов сложных смесей) и количественный (определение содержания каждого компонента) анализ [1–5]. Для сравнения двух и более проб, для установления причин возможных различий их состояния применяют метод хемометрики – метод обработки сразу всех матриц выходных

Для цитирования

Кобаев А.Ю., Мураховский И.А., Кучменко Т.А. Интенсификация обработки данных и получение новой информации по многомерным сигналам «электронного носа» // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 1. С. 247–251. doi:10.20914/2310-1202-2020-1-247-251

For citation

Kobaev A.Yu., Murakhovsky I.A., Kuchmenko T.A. Intensification of data processing and obtaining new information on multidimensional signals of the "electronic nose". *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 1. pp. 247–251. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-1-247-251

данных. Для этого применяют различные методы: от кластерного анализа, регрессионного до нейронных сетей и методов главных компонент. В действительности все эти методы предусматривают применение специальных программ. В тоже время сама матрица данных содержит много связанных и несвязанных друг с другом данных, на основании которых можно получить дополнительную информацию о химическом составе образца [6–10]. При этом алгоритмы таких дополнительных расчетов часто простые или основаны на известных математических формулах. Достоинством таких подходов является расширение аналитической информации о составе проб. Главное ограничение – время расчетов по данным большой матрицы выходных данных. Так для восьмисенсорного анализатора газов “МАГ-8” только за 80 с измерения матрица выходных данных единичного измерения представлена от 640 до 645 чисел. При более сложных анализах, например, биопроб, время измерения достигает 200 с. Это приводит к расширению матрицы первичных данных массива сенсоров до 1600 чисел. Обработка такой матрицы данных при статистической обработке или при сравнении множества проб становится время затратным процессом, что в свою очередь снижает эффективность эксперимента. Так, даже для поиска общих закономерностей и изменений при анализе биопроб необходима минимальная выборка от 50 проб. Несложно представить, что только на расчеты по самым простым единичным откликам сенсоров при измерении (максимальным изменениям частот колебаний сенсоров за время измерения), например, параметров эффективности сорбции смесей газов $A_{i/j}$ необходимо найти частное не менее 28 раз, а при расчетах по методу нормировки для набора восьми максимальных сигналов – еще не менее 30 расчетов. И это только для одной пробы. При этом часто и эти результаты являются промежуточными. Поэтому актуально применение программирования для упрощения стадии обработки данных. Программное обеспечение “электронного носа” не подразумевает частого обновления и ограничено регистрацией, сохранением и сравнением измерений из базы данных. Все дополнительные или новые расчетные данные получают вне этого программного обеспечения.

Цель работы – применить доступные средства расчета и обработки цифровой информации многомерных сигналов анализатора газов пьезоэлектронный нос для повышения эффективности измерений и снижения времени обработки данных, разработки программного обеспечения для мобильных гаджетов.

Материалы и методы

Для представления и обработки многомерных данных применяли электронные таблицы. Электронная таблица (ЭТ) – программа, предоставляющая возможность проводить расчет данных в виде двумерных массивов. Присутствующая в базовой операционной системе или загруженная из внешних источников, ЭТ является удобным инструментом для автоматизации вычислений. Программы для взаимодействия с электронными таблицами довольно разнообразные (“Gnumeric”, “KSpread”, “Google документы”, “LibreOfficeCalc”, “Microsoft Excel”).

Для математического моделирования при помощи электронной таблицы откликов быстрого расчета параметров газового анализатора газов типа электронный нос “МАГ-8” применили стандартное приложение Microsoft Excel.

Обсуждение

В моделирование данных для получения новой информации о качественном и количественном составе газовых смесей по сигналам n-сенсорного электронного носа входит расчет таких параметров как:

ω_i , % – оценивает долю максимальных за время измерений сигналов каждого сенсора в общей матрице измерений. Математическая формула (1) моделируется в электронной таблице ($= \text{СУММ}() / \text{СУММ}() \times 100$)

$$\omega_i = \frac{\Delta F(i)}{\sum \Delta F} * 100 \% \quad (1)$$

ω_m , % – долю сигналов сенсоров в массиве за выбранный промежуток времени к сумме сигналов за все время измерения. Математическая формула (2) моделируется в электронной таблице ($= \text{СУММ}() / \text{СУММ}() \times 100$)

$$\omega_m = \frac{\sum F(\Delta \tau)}{\sum F(\tau \Sigma)} * 100 \% \quad (2)$$

Параметр ω является наиболее грубым для оценки доли тех соединений в смеси, сродство к которым проявляет модификатор определённого сенсора. Чем выше селективность сенсора в массиве, тем больше определённость о количественном составе смеси и изменении концентрации отдельных соединений или классов (кислоты, амины, спирты и т. д.). Но максимальные отклики сенсоров – дискретные значения (ΔF_{max} , F_i), а процесс накопления наибольшей массы во времени протекает различно для разных аналитов, поэтому ΔF_{max} зависит не только от концентрации, но и природы компонентов. Предложен новый параметр ωm_i %, который более точно отражает изменение состава смеси, чем ω , так как учитывает особенности накопленной максимальной массы сорбата от момента напуска паров аналитов. Этот параметр ранее

не рассматривался в практике пьезоэлектрических микровесов из-за трудоемкости обработки данных. Диалоговое окно таблицы программирования его расчета представлена на рисунке 1.

Время	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	Доля строк
30	17	7	13	23	12	10	16	0	100	
35	20	9	16	29	15	11	19	0	12,03	
40	23	12	20	34	17	13	21	0	14,16	
45	26	14	22	39	20	15	23	0	16,08	
60	35	19	30	54	27	19	28	0	21,44	
80	44	27	40	73	35	24	36	0	28,21	
100	4	2	3	11	8	6	4	0	3,84	
115	-7	-4	-4	-3	1	1	-7	0	-2,33	
180	-7	-3	-7	-9	-4	0	-3	0	-3,34	

Рисунок 1. Диалоговое окно таблицы для расчета ω_mⁱ

Figure 1. Dialog calculation window ω_mⁱ

Специфические параметры сорбции, учитывающие особенности временного изменения аналитического отклика сенсоров важны и содержат информацию о природе аналитов. Таким параметром является, например, кинетический параметр γ – он учитывает особенности сорбционно-десорбционных процессов, протекающих на разных покрытиях сенсоров для смесей газов и паров. Математическая формула (3) моделируется в таблице следующим образом (= (d1-d2) / (d3-d4)) (рисунок 2):

$$\gamma = \frac{\Delta d_1 - \Delta d_2}{\Delta d_3 - \Delta d_4} \quad (3)$$

Время	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	γ
30	17	7	13	23	12	10	16	0	0	B15/(B17-B18)
35	20	9	16	29	15	11	19	0	0	
40	23	12	20	34	17	13	21	0	0	
45	26	14	22	39	20	15	23	0	0	
60	35	19	30	54	27	19	28	0	0	
80	44	27	40	73	35	24	36	0	0	
100	4	2	3	11	8	6	4	0	0	
115	-7	-4	-4	-3	1	1	-7	0	0	
180	-7	-3	-7	-9	-4	0	-3	0	0	

Рисунок 2. Диалоговое окно для расчета кинетического параметра γ

Figure 2. Dialog calculation window for the kinetic parameter γ

Важно не только единичный кинетический параметр, но и их набор для всех измерительных элементов в массиве. Параметр позволяет хорошо ранжировать пробы сложного, меняющегося состава. Не менее информативен параметр minj – это параметр интегрального аналитического сигнала массива сенсоров (фигуры «визуальных отпечатков» максимальных откликов), характеризующий соотношение проекций сигналов сенсоров с пленками i и n на сигнал сенсора с пленкой j [1].

Смоделируем его в таблице как (=КОРЕНЬ((i)^2 + (j)^2 - (i)×(j)) × КОРЕНЬ(2)) / КОРЕНЬ((j)^2 + (n)^2 - (j)×(n)) × КОРЕНЬ(2))) (рисунок 3):

$$m_{inj} = \frac{\sqrt{\Delta F_{max,i}^2 + \Delta F_{max,j}^2 - \Delta F_{max,i} \cdot \Delta F_{max,j}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{\Delta F_{max,j}^2 + \Delta F_{max,n}^2 - \Delta F_{max,j} \cdot \Delta F_{max,n}} \cdot \sqrt{2}} \quad (4)$$

ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF
58	68	78	85	91	95	99	100	100	100	100

Рисунок 3. Диалоговое окно Excel для расчета m_{inj}

Figure 3. Excel dialog window for calculating the m_{inj}

Точность расчета параметров minj – 1 × 10⁻². Для каждого измерения на 8-ми сенсорном массиве таких параметров не менее 7. Однако, не все эти параметры информативны, но минимальные их значения в наборе также важны для аутентичности проб при сравнении большого набора близких по составу объектов.

Одним из доступных параметров, с помощью которого можно сравнить многомерные регистрируемые, расчетные характеристики и отклики “электронного носа” являются параметры сопоставления наборов, оценки тесноты связи и подобия.

Для расчета степени подобия качественных характеристик искусственного обоняния (наборы Aij [2] γ, m) применен параметр δ. Для сопоставления двух наборов данных также можно применять моделирование ЭТ.

$$\delta = \sqrt{t - Aij^2 k} = 1 \quad (5)$$

Параметр подобия Пирсона δ применяется для сравнения наборов данных для нескольких измерений. В электронной таблице формула для расчета δ (5) выглядит следующим образом:

$$= \text{КОРЕНЬ}(-((\text{СУММПРОИЗВ}(\text{ст}) - \text{СУММПРОИЗВ}(\text{из})^2) / (\text{СУММПРОИЗВ}(\text{ст})^2))))$$

Диалоговое окно (рисунок 4) позволяет выводить информацию при сравнении со стандартным набором неограниченного числа наборов данных.

ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	ΔF	δ
0,18	0,73	0,5	2	0,31	1,5	0,42	0,46	1,2	1,2	1,2	
0,2	0,76	0,4	1,9	0,37	1,3	0,39	0,31	1,6	1,6	1,6	0,86237
0,24	0,88	0,88	1,47	0,41	1,07	0,56	0,6	0,68	0,68	0,68	

Рисунок 4. Диалоговое окно Excel для расчета параметра подобия δ

Figure 4. Excel dialog window for calculating the similarity parameter δ

Расчет в программируемых таблицах позволяет за малое время по выгружаемым из базы прибора данным рассчитать все важные качественные и количественные характеристики и при необходимости представить их

графически. Эти электронные таблицы можно запрограммировать в ПО для прибора “МАГ-8”.

Для примера рассмотрим алгоритм действий при исследовании и подготовки данных после измерений на электроносе “МАГ-8”.

1. Отбор и подготовка пробы к анализу.
2. Измерение по выбранному алгоритму (методика).
3. Вывод данных из программного обеспечения электронного носы в электронные таблицы (сохранить в Excel).
4. Моделирование формул в электронной таблице (лист 1 или на отдельных листах).
5. Перенос данных в смоделированные электронные таблицы.
6. Электронные таблицы статистически выявляют значения, которые скооперированы с описанием состояния человека и причины отклонения от нормального состояния. Наиболее информативные выделены в группу из 21 показателя.
7. Для лучшего восприятия информации представлены визуализированные сферы состояния. Для каждого параметра А установлены границы значений соответствия нормы критическому и аномальному состоянию с указанием причин этого состояния. Если какой-либо параметр применим из указанных, то сектор закрашивается в зелёный, красный или жёлтый цвета. Пример сфер состояния приведен на рисунке 5.



Рисунок 5. Диалоговое окно со сферой состояния
Figure 5. Dialog window with a Status Sphere

Применение программирования позволило значительно сократить время на обработку данных электронного носы; получить новую аналитическую диагностическую информацию. Это в свою очередь позволило надёжно оценить состояние объекта исследования и создать условия для дружественной интеграции и разработки ПО для персональных девайсов.

Разработаны алгоритм и программное обеспечение для электронного носы на основе 8-ми пьезосенсоров для личных девайсов на платформе Android. Алгоритм программы предназначен для трансформации результатов проведенных измерений в последовательность диаграмм разных типов.

Прибор передает данные по Bluetooth, которые принимаются мобильным устройством, обрабатываются, и в программном обеспечении на экране выводятся результаты, понятные обычным пользователям. Программа имеет два алгоритма обработки данных. Первый алгоритм основан на выводе результатов после ручного ввода максимальных откликов сенсоров. По полученным данным рассчитываются параметры и строится диаграмма состояния. Состояние определяется на основании расчетных параметров, для которых экспериментальным путем установлены числовые границы (рисунок 5). Данный режим позволяет пользователям проводить измерения в течение 2–3 мин и получать частичную, но важную информацию о своем состоянии.

Второй алгоритм предназначен для проведения лабораторного анализа. При регистрации сигналов сенсоров над кожей руки в течение 80 с и последующей регистрации десорбции в течение 120 с формируется полная матрица откликов, а при их обработке – наиболее информативный набор данных о состоянии организма и отдельных органов / систем. Строятся визуальные отпечатки набора откликов сенсоров (рисунок 6), рассчитывается площадь каждого и некоторые качественные характеристики. На основе рассчитанных параметров можно получить более детальный анализ причин в случае желтой и красной зон на сфере состояния. Данный алгоритм предназначен для проведения клинических измерений и диагностики состояния экспертом.

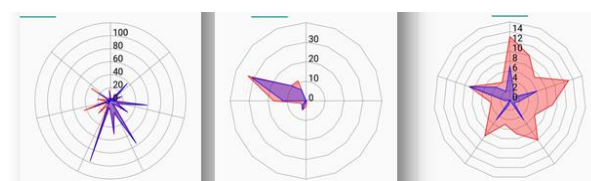


Рисунок 6. Различные виды визуальных отпечатков сигналов сенсоров в массиве

Figure 6. Different types of visual imprints of sensor signals in an array

Заключение

Разработанное программное обеспечение для мобильных устройств позволяет получить результат моментально после проведения измерения и привести их в более удобную для регистрации и интерпретации форму, позволит сделать домашнюю диагностику более доступной, автоматизирует процесс обработки данных.

Литература

- 1 Kuchmenko T.A., Shuba A.A., Drozdova E.V. Substation of the Operating life of Gas piezosensors in detection of vapors of organic compounds // Russian Journal of Applied Chemistry. 2015. V. 88. № 12. P. 1997–2008.
- 2 Кучменко Т.А., Шуба А.А. Информативность выходных сигналов «электронного носа» на пьезосенсорах // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 2. С. 72–84.
- 3 de Lacy Costello B., Amann A., Al-Kateb H., Flynn C. et. al. A review of the volatiles from the healthy human body. J Breath Res. 2014. V. 8. P. 29. doi: 10.1088/1752-7155/8/1/014001
- 4 Lucas A.R. et. al. Development of an eHealth System to Capture and Analyze Patient Sensor and Self-Report Data: Mixed-Methods Assessment of Potential Applications to Improve Cancer Care Delivery // Jmir Medical Informatics. 2018. V. 6. P. 138–150. doi: 10.2196/medinform.9525
- 5 Liu J.J., Geng Z.X., Fan Z.Y., Liu J. et al. Point-of-care testing based on smartphone: The current state-of-the-art (2017-2018) // Biosensors & Bioelectronics. 2019. V. 132. P. 17–37. doi: 10.1016/j.bios.2019.01.068
- 6 Jia W., Liang G., Tian H., Sun J. et al. Electronic nose-based technique for rapid detection and recognition of moldy apples // Sensors. 2019. V. 19. № 7. P. 1526.
- 7 Ghosh S., Tudu B., Bhattacharyya N., Bandyopadhyay R. A recurrent Elman network in conjunction with an electronic nose for fast prediction of optimum fermentation time of black tea // Neural Computing and Applications. 2019. V. 31. № 2. P. 1165–1171.
- 8 Sayago I., Aleixandre M., Santos J.P. Development of tin oxide-based nanosensors for electronic nose environmental applications // Biosensors. 2019. V. 9. № 1. P. 21.
- 9 Brinkman P., Wagener A.H., Hekking P.P., Bansal A.T. et al. Identification and prospective stability of electronic nose (eNose)-derived inflammatory phenotypes in patients with severe asthma // Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2019. V. 143. № 5. P. 1811–1820.
- 10 Staerz A., Roeck F., Weimar U., Barsan N. Electronic Nose: Current Status and Future Trends1 // Surface and Interface Science. 2020. V. 9–10.

References

- 1 Kuchmenko T.A., Shuba A.A., Drozdova E.V. Substation of the Operating life of Gas piezosensors in detection of vapors of organic compounds. Russian Journal of Applied Chemistry. 2015. vol. 88. no. 12. pp. 1997–2008. (in Russian).
- 2 Kuchmenko T.A., Shuba A.A. Informative nature of the electronic nose output signals based on the piezoelectric sensors. Analytics and control, 2017. vol. 21. no. 2. pp. 72–84. (in Russian).
- 3 de Lacy Costello B., Amann A., Al-Kateb H., Flynn C. et. al. A review of the volatiles from the healthy human body. J Breath Res. 2014. vol. 8. pp. 29. doi: 10.1088/1752-7155/8/1/014001
- 4 Lucas A.R. et. al. Development of an eHealth System to Capture and Analyze Patient Sensor and Self-Report Data: Mixed-Methods Assessment of Potential Applications to Improve Cancer Care Delivery. Jmir Medical Informatics. 2018. vol. 6. pp. 138–150. doi: 10.2196/medinform.9525
- 5 Liu J.J., Geng Z.X., Fan Z.Y., Liu J. et al. Point-of-care testing based on smartphone: The current state-of-the-art (2017-2018). Biosensors & Bioelectronics. 2019. vol. 132. pp. 17–37. doi: 10.1016/j.bios.2019.01.068
- 6 Jia W., Liang G., Tian H., Sun J. et al. Electronic nose-based technique for rapid detection and recognition of moldy apples. Sensors. 2019. vol. 19. no. 7. pp. 1526.
- 7 Ghosh S., Tudu B., Bhattacharyya N., Bandyopadhyay R. A recurrent Elman network in conjunction with an electronic nose for fast prediction of optimum fermentation time of black tea. Neural Computing and Applications. 2019. vol. 31. no. 2. pp. 1165–1171.
- 8 Sayago I., Aleixandre M., Santos J.P. Development of tin oxide-based nanosensors for electronic nose environmental applications. Biosensors. 2019. vol. 9. no. 1. pp. 21.
- 9 Brinkman P., Wagener A.H., Hekking P.P., Bansal A.T. et al. Identification and prospective stability of electronic nose (eNose)-derived inflammatory phenotypes in patients with severe asthma. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 2019. vol. 143. no. 5. pp. 1811–1820.
- 10 Staerz A., Roeck F., Weimar U., Barsan N. Electronic Nose: Current Status and Future Trends1. Surface and Interface Science. 2020. vol. 9–10.


Сведения об авторах

Александр Ю. Копеев студент, технологический факультет, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alex_evr@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0808-4766>

Иван А. Мураховский студент, факультет управления и информатики в технологических системах, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ivan335522@mail.ru

Татьяна А. Кучменко д.х.н., профессор, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tak1907@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Вклад авторов


Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Information about authors

Alexandr Yu. Kopaev student, faculty of Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alex_evr@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0808-4766>

Ivan A. Murakhovsky student, faculty of Management and Informatics in Technological Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ivan335522@mail.ru

Tatyana A. Kuchmenko Dr. Sci. (Chem.), professor, physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tak1907@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7812-9195>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 16/01/2020	После редакции 27/01/2020	Принята в печать 05/02/2020
Received 16/01/2020	Accepted in revised 27/01/2020	Accepted 05/02/2020