

УДК 615.47

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29

ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРОГА ОЩУЩЕНИЯ ОДОРИВЕКТОРА ПРИ РИНОМАНОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Я. В. НОСОВА^{1*}, О. Г. АВРУНИН², Т. В. ЖЕМЧУЖКИНА³

¹ аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

² заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

³ доцент кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, УКРАИНА

*email: nyav007@gmail.com

АННОТАЦИЯ Статья посвящена автоматизации определения порога ощущения одоривектора при риноманометрической оценке обонятельной чувствительности. Данный порог соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при рино-ольфактометрической оценке обонятельной чувствительности человека. Таким образом, усовершенствован метод определения порога ольфакторной чувствительности, который отличается тем, что позволяет за счет анализа формы циклограммы носового дыхания повысить объективность диагностики нарушений обонятельной чувствительности или респираторно-обонятельных нарушений.

Ключевые слова: чувствительность обонятельная; одоривектор; порог чувствительности; нарушения дыхательно-обонятельные; ольфактометрия.

POSSIBILITIES FOR THE AUTOMATED DETECTION OF THE ODORIVEKTOR SENSATION THRESHOLD FOR A RHINOMANOMETRIC ASSESSMENT OF OLFACTORY SENSITIVITY

Ya. NOSOVA^{1*}, O. AVRUNIN², T. ZHEMCHUZHKINA³

¹ Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

² Professor of Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

³ Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The use of existing devices for the study of olfactory function requires a large amount of time and complex equipment, which limits their use in practical rhinology, and most importantly, ultimately, reduces to a subjective evaluation of the reaction to the supplied odorant. It should be noted that computer olfactometry is one of the most promising methods for diagnosing olfactory disorders namely respiratory genesis. When the odorivector senses normal in the subject near the threshold of sensation (when the intensity of breathing is increased), respiration is arbitrarily briefly shortened, and when the threshold of sensation sets in, the breathing cycles turn into "sniffing", which contributes to deeper air entering the olfactory area and recognizing the smell. This point in time can be characterized as the onset of the threshold of sensation of the odorivector. In this article, we propose a structural diagram of the method for determining the threshold of olfactory sensitivity. The main unit is the digital signal processing unit, in which the pneumatic power of the respiratory pattern is calculated as the product of the pressure drop and the air volume flow, and the calculation of the respiration energy is performed by integrating the cyclogram pneumatic breathing power. It is established that to establish the threshold of olfactory sensitivity it is expedient to use the developed method of automated determination of the threshold of sensation of an odorivector. The method is based on the analysis of the respiratory cycle, namely, the search for the time at which the subject briefly breathes for a short time. This threshold corresponds to the reaction of the test subject to the feed odor with a rhino- olfactometry evaluation of the human olfactory sensitivity. Improvement of the method consists in determining the threshold of olfactory sensitivity, which makes it possible, by analyzing the shape of the nasal respiratory cycle, to increase the objectivity of diagnosing abnormalities of olfactory sensitivity or respiratory and olfactory disorders. The prospect of the work consists in testing the computer system of respiratory-olfactory disorders and preliminary medical approbation.

Keywords: sensitivity olfactory; odouriver; threshold of sensitivity; violations of the respiratory and olfactory; olfactometry.

Введение

Церебральные механизмы обоняния человека тесно связаны с фундаментальными механизмами формирования потребностей, мотиваций и эмоций. То есть обонятельный анализатор, кроме выполнения

чисто сенсорных функций, способен влиять на деятельность различных систем мозга и организма в целом, поэтому интерес к нему продолжает нарастать [1-3].

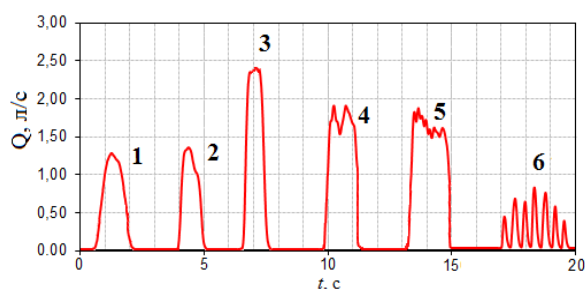
Применение существующих устройств для исследования функции обоняния требует большого

количество времени и сложной аппаратуры, что ограничивает их применение в практической ринологии, а главное, в конечном счете, сводится к субъективной оценке реакции на подаваемый одорант [4]. Однако, исследователи кафедры биомедицинской инженерии (ХНУРЭ) совместно с кафедрой оториноларингологии (ХНМУ) предложили метод компьютерной ольфактометрии [5-7], учитывающий вышеперечисленные недостатки существующих устройств.

Следует отметить, что компьютерная ольфактометрия является одним из наиболее перспективных методов диагностики обонятельных нарушений именно респираторного генеза.

Метод компьютерной ольфактометрии [6-7] основан на применении принципиально новой конструкции, сочетающей в себе риноанометр и ольфактометрическую насадку с контейнером для пахучего вещества. Особенностью данного метода является также возможность определять энергетические характеристики носового дыхания при достижении порога ощущения. Фиксация порога ощущения в ответ на подаваемый одорант происходит путем нажатия на специальную кнопку во время тестирования дыхательно-обонятельных нарушений.

Исследования данных риноанометрии в динамическом режиме (с визуализацией циклограмм дыхания) открывают новые возможности при анализе и интерпретации результатов тестирования носового дыхания [8-9]. Так, на рис. 1 для изменения расхода воздуха приведены типичные циклы вдоха при спокойном дыхании в норме (1 и 2, соответственно).



1, 2 – спокойное дыхание (норма); 3 – форсированное дыхание (ригидность носового клапана); 4, 5 – форсированное дыхание – ступенчатый вдох (нормально-функционирующая подвижность носового клапана); 6 – ступенчатый вдох – «принюхивание»

Рис.1 – Варианты дыхательных циклов

В форсированном режиме дыхания при ригидном носовом клапане на рис.1 (3) и при носовом клапане с нормальной функциональной подвижностью, ограничивающей поток воздуха с характерной усеченной вершиной на циклограмме (4 и 5, соответственно), а также ступенчатый вдох (6) – короткое «потягивание» воздуха, которое можно охарактеризовать, как своеобразное «принюхивание»,

что иллюстрируется высокочастотными биениями сигнала на диаграмме расхода воздуха.

Таким образом, представляется необходимым разработать алгоритм определения обонятельной чувствительности при риноанометрической оценке обонятельной чувствительности.

Цель работы

Целью работы является разработка и реализация алгоритма автоматизированного определения порога ощущения одоривектора, что соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при риноанометрической оценке обонятельной чувствительности.

Изложение основного материала

При ощущении одоривектора в норме у испытуемого вблизи достижения порога ощущения (при повышении интенсивности дыхания) произвольно кратковременно учащается дыхание и при наступлении порога ощущения дыхательные циклы (после 4-го дыхательного цикла) на рис. 1 превращаются в «принюхивание», что способствует более глубокому попаданию воздуха в обонятельную область и распознаванию запаха [8]. Этот момент времени можно характеризовать как наступление порога ощущения T одоривектора (рис. 2).

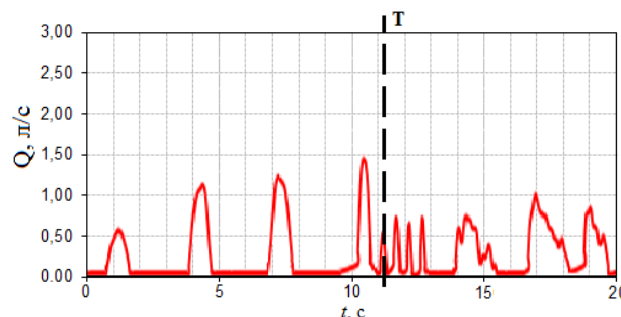


Рис. 2 – Циклограмма расхода воздуха при носовом дыхании (T – порог ощущения)

Была разработана структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности (рис.3).

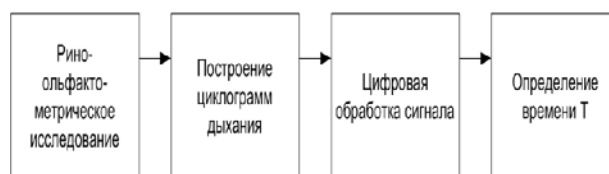


Рис. 3 – Структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности

Первый блок включает рино-ольфактометрическое исследование. Его суть на

первом этапе включает выполнение подготовки к проведению процедуры динамической риноманометрии (rinoflowmetry), при которой измеряются показатели перепада давления Δp на носовой полости и расхода Q воздуха при носовом дыхании. Носитель одоривектора размещается в воздушном тракте риноманометра, как правило, на входе датчика измерения расхода воздуха.

Для исследования обонятельной чувствительности применяются три обонятельных вещества. Так как иннервация слизистой оболочки носа, кроме обонятельного нерва, происходит чувствительными ветвями глазного и верхнечелюстного нервов (ветви тройничного нерва), то целесообразно применять одоривекторы разного рецепторного действия: раствор валерианы, который обусловлен нервом n. olfactorius; уксусная кислота, обусловленная n. trigemini и нашатырный спирт, обусловленный n. glossopharyngeus.

Далее выполняется непосредственно процедура динамической ринофлоуметрии с помощью риноманометра для получения циклограмм дыхания (блок 2 рис.3), представляющие собой зависимости расхода $Q(t)$ воздуха и перепада давления $\Delta p(t)$ на носовой полости от времени. При этом тестируемый выполняет дыхательные маневры с нарастанием их интенсивности.

Блок цифровой обработки сигнала реализован на основе алгоритма поиска момента времени реакции тестируемого на подаваемый одорант.

Далее в блоке цифровой обработки сигнала выполняется расчет пневматической мощности $N(t)$ циклограммы дыхания как произведения перепада давления и объемного расхода воздуха, а также расчет энергии дыхания E , характеризующий колориметрические затраты на дыхание при появлении чувствительности к одоривектору, выполняется интегрированием циклограммы пневматической мощности дыхания.

Обсуждение результатов

Рассмотрим описание работы разработанного алгоритма на примере конкретного сигнала (рис.4).

Начальный этап заключается в фиксации уплощенной формы и локальных экстремумов сигнала расхода воздуха во время компьютерной риноманометрии путем численного дифференцирования сигнала расхода воздуха по времени и анализа количества нулевых значений производной во время фазы вдоха дыхательного цикла (при положительном значении сигнала расхода воздуха). Численное дифференцирование измеряемого сигнала расхода воздуха осуществляется согласно формуле:

$$y(t) = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q(i) - Q(i-1)}{t(i) - t(i-1)},$$

где $Q(i)$ – дискретно заданные i -е значения сигнала расхода воздуха в моменты времени $t(i)$, $i \in [1; n]$,

n – количество отсчетов сигнала расхода воздуха,

Δt – временной интервал между отсчетами сигнала.

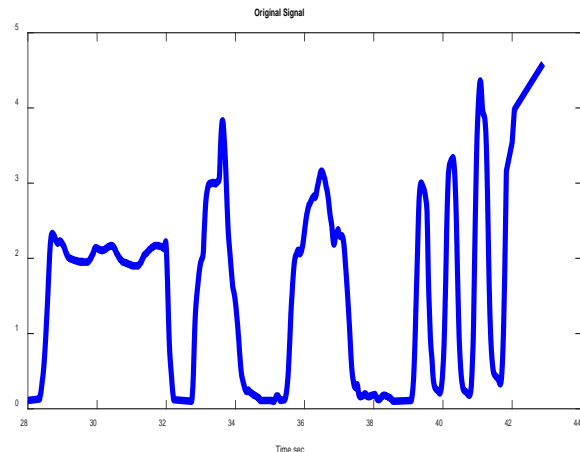


Рис. 4 – Исходный рино-ольфактометрический сигнал

Исходный сигнал имеет неравномерную дискретизацию по времени. Проведем передискретизацию сигнала y по равномерной временной шкале t_1 с периодом дискретизации T_s равным 0,001 с.

Для этого выполняем процедуру линейной интерполяции. Она заключается в замене $y(t)$ линейной функцией на основе значений $y(t)$ в двух точках. Для двух соседних точек линейная интерполяция задается уравнением [10]:

$$y = y_0 + [(t-t_0)(y_1-y_0)] / (t_1-t_0).$$

Линейная интерполяция носит локальный характер и используется для нахождения значений $y(t)$ на отрезке $[t_{i-1}; t_i]$, $[t_i; t_{i+1}]$, где $i=1, 2, \dots, N$. В результате интерполяции получаем новый сигнал $t_1(y_1)$.

Задаем порог $Thr=0,5$, по которому будем отсекал сигнал для определения дыхательных периодов. Выполняем поиск периодов дыхания, где значение сигнала превышает заданный порог (рис.1). Для этого в цикле по всем точкам y_1 ($i=1:N$, где N - количество точек в массиве y_1) проверяем условие превышения i -й точкой сигнала порога Thr .

В случае выполнения условия, переменной Act_i присваиваем значение 1, в противном случае – значение 0. Таким образом, формируем новый массив значений.

$$Act(i) = \begin{cases} 1; & y_1(t_1) > 0,5 \text{ л / с} \\ 0; & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Выполняем процедуру поиска точек начала периодов дыхания путем перебора всех точек массива Act. Если точка массива Act равна нулю, а следующая равна единице, то эта точка и есть началом искомого периода дыхания. Таким образом, формируем массив St.

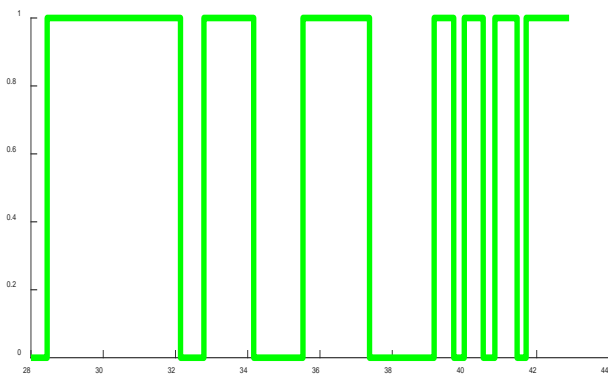


Рис. 5 – Иллюстрация построения импульсов, соответствующих дыхательным периодам

Выполняем поиск точек конца периодов дыхания риноанометрического сигнала аналогичным образом. При переборе всех точек массива Act проверяем следующее условие: если текущая точка равна единице, а следующая равна нулю, то эта точка является концом периода дыхания. Найденные точки конца периода дыхания обрабатываемого сигнала записываем в массив Fin.

Необходимо предусмотреть случай, когда сигнал прерывается, и последний дыхательный период не имеет конечной точки, то есть длина массива с точками начала периодов дыхания (St) будет больше длины массива с точками конца периодов дыхания (Fin), тогда будем считать последнюю точку сигнала концом последнего периода дыхания.

Длина периодов дыхания в отсчетах определяется разностью между точками конца и начала соответствующего периода. Для построения графика во временной шкале необходимо умножить значение длины в отсчетах на период дискретизации. Далее вычисляем длины пауз между периодами дыхания в отсчетах и аналогичным образом умножаем результат на период дискретизации. Длина паузы определяется разностью между точкой начала текущего периода и точкой конца предыдущего периода дыхания.

Далее находим точку *b*, соответствующую порогу ощущения запаха. Условие нахождения порога восприятия запаха определяется следующим выражением:

$$b = \{A_{i+1} < A_i \ \& \ B_{i+1} < B_i\},$$

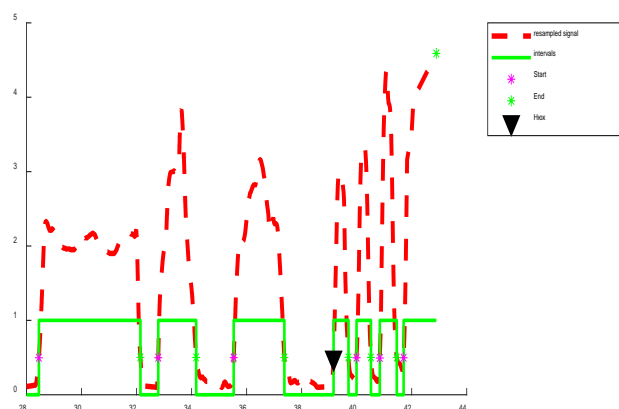
где A_{i+1} – ширина (i+1)-го периода дыхания;

A_i – ширина i-го периода дыхания;

B_{i+1} – длина (i+1) паузы между периодами дыхания;

B_i – длина i-й паузы между периодами дыхания;

b – точка начала i-го периода дыхания, что соответствует порогу восприятия запаха (рис.4) .



Испытуемый почувствовал запах на 39.16 секунде

Рис. 6 – Результаты работы блока цифровой обработки рино-ольфактометрического сигнала

После определения точки сигнала, соответствующей времени ощущения одоривектора тестируемым, на экран компьютера выводится график с исходным риноанометрическим сигналом, искомая точка отмечена треугольником, а также выводится текстовое сообщение.

Выводы

Разработана структурная схема метода определения порога ольфакторной чувствительности. Установлено, что для установления порога обонятельной чувствительности целесообразно использовать разработанный метод автоматизированного определения порога ощущения одоривектора. Метод основан на анализе циклограммы дыхания, а именно, поиске момента времени при котором у испытуемого произвольно кратковременно учащается дыхание. Данный порог соответствует реакции тестируемого на подаваемый запах при рино-ольфактометрической оценке обонятельной чувствительности человека.

Усовершенствование метода заключается в определении порога ольфакторной чувствительности, что позволяет за счет анализа формы циклограммы носового дыхания повысить объективность диагностики нарушений обонятельной

чувствительности или респираторно-обонятельных нарушений.

Перспектива работы заключается в тестировании компьютерной системы дыхательно-обонятельных нарушений и предварительной медицинской апробации.

Список литературы

1. Шевчук, Ю. В. Клініко-експериментальне дослідження периферійної ланки нюхового аналізатора / Ю. В. Шевчук // Науковий вісник Ужгородського університету, серія „Медицина”. – 2008. – вип. 33. – С. 72-74.
2. Boesveldt, S. Gustatory and olfactory dysfunction in older adults: a national probability study. / S. Boesveldt, S. T. Lindau, M. K. McClintock, T. Hummel, J. N. Lundström // *Rhinology*. – 2011. – 49 (3). – P. 324 – 330. – doi: 10.4193/Rhino10.155.
3. Henrot, P. To rediscover the olfactory cleft / P. Henrot, P. Gallet, B. Grignon, T. Georgel, R. Jankowski // *European Society of Radiology*. – 2010. – C-1701. – doi:10.1594/ecr2010/C-1701.
4. Scadding, G. Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper / G. Scadding, P. Hellings, I. Alobid, et al. // *Clinical and Translational Allergy*. – 2011. – 1:2. – doi:10.1186/2045-7022-1-2.
5. Nosova, Ya. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis / Ya. Nosova, N. Shushlyapina, S. V. Kostishyn, L. G. Koval, Z. Omiolek, et al. // *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. – 2016. – 100312M. – doi:10.1117/12.2248364.
6. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О. Г., Журавльов А. С., Шушляпіна Н. О., Носова Я. В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500604; заявл. 26.01.2015; опубл. 25.05.2015, Бюл.№10. – 2 с.
7. Пристрій для тестування респираторних порушень нюху: пат. 110452 С2 Україна: МПКА61В 5/08(2006.01) / Аврунін О. Г., Журавльов А. С., Шушляпіна Н. О., Носова Я. В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500603; заявл. 26.01.2015; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11. – 4 с.
8. Nosova, Ya. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics / Ya. V. Nosova, O. G. Avrunin, V. V. Semenets // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No. 1 (1). – P. 64 – 68. – doi:10.30837/2522-9818.2017.1.064.
9. Avrunin, O. Extended of diagnostic capabilities for the Rhinomanometry method / O. Avrunin, N. Shushlyapina, J. Ivanchenko // Chapter 5.1 (315-321 p) in Spatial aspects of socio-economic systems' development: the economy, education and health care. Monograph. Opole: The

Academy of Management and Administration in Opole. – Publishing House WSZiA. – 2015. – 380 p.

10. Могилев, А. В. Методы программирования. Компьютерные вычисления / А. В. Могилев, Л. В. Листрова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 320 с.

Bibliography (transliterated)

1. Shevchuk, Yu. V. Clinical and experimental study of the peripheral link of the olfactory analyzer. *Scientific Bulletin of Uzhgorod University, series "Medicine"*, 2008, **33**, 72-74.
2. Boesveldt, S., Lindau, S. T., McClintock, M. K., Hummel, T., Lundström, J. N. Gustatory and olfactory dysfunction in older adults: a national probability study. *Rhinology*, 2011, **49** (3), 324 – 330, doi: 10.4193/Rhino10.155.
3. Henrot, P., Gallet, P., Grignon, B., Georgel, T., Jankowski, R. To rediscover the olfactory cleft. *European Society of Radiology*, 2010, C-1701, doi:10.1594/ecr2010/C-1701.
4. Scadding, G., Hellings, P., Alobid, I., et al. Diagnostic tools in Rhinology EAACI position paper. *Clinical and Translational Allergy*, 2011, 1:2, doi:10.1186/2045-7022-1-2.
5. Nosova, Ya. Shushlyapina, N., Kostishyn, S. V., Koval, L. G., Omiolek, Z., et al. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis. *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2016, 100312M, doi:10.1117/12.2248364.
6. A method for increasing the objectivity of olfactometric studies: Pat. 110453 C2 Ukraine: IPC A61V 5/08 (2006.01) / Avrunin O. G., Zhuravlev A. S., Shushlyapina N. O., Nosova Y. V., Faruk Kh., Applicant and Patent Owner Kharkiv National University of Radio Electronics. - №201500604; Stated. 2015/06/25; Published May 25, 2015, Bul. # 10, 2s.
7. Device for testing respiratory disturbances of olfactory: pat. 110452 C2 Ukraine: IPC A61V 5/08 (2006.01) / Avrunin O. G., Zhuravlev A. S., Shushlyapina N. O., Nosova Y. V., Faruk Kh., Applicant and Patent Owner Kharkiv National University of Radioelectronics. - №201500603; Stated. 2015/06/25; Published Jun 10, 2015, Bul. # 11, 4s.
8. Nosova, Ya., Avrunin, O. G., Semenets, V. V. Biotechnical system for integrated olfactometry diagnostics *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, 2017, **1** (1), 64 – 68, doi:10.30837/2522-9818.2017.1.064.
9. Avrunin, O., Shushlyapina, N., Ivanchenko, J. Extended of diagnostic capabilities for the Rhinomanometry method. Chapter 5.1 (315-321 p) in Spatial aspects of socio-economic systems' development: the economy, education and health care. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. *Publishing House WSZiA*, 2015, 380 p.
10. Mogilev, A. V., Lystrova, L. V. Programming methods. Computer calculations. *SPb.: BHV-Petersburg*, 2008, 320 p.

Сведения об авторах (About authors)

Носова Яна Витальевна – аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: nyav007@gmail.com.

Yana Nosova – Scientific Degree (Ph. D.), Docent/Professor, Position, Affiliation, Company, City, Ukraine; e-mail: nuav007@gmail.com.

Аврунин Олег Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии, г. Харьков, Украина; e-mail: oleh.avrunin@nure.ua.

Oleh Avrunin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Biomedical Engineering, Kharkov, Ukraine; e-mail: oleh.avrunin@nure.ua.

Татьяна Владимировна Жемчужкина – доцент, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; г. Харьков, Украина; e-mail: tatyana.zhemchuzhkina@nure.ua.

Tatyana Zhemchuzhkina – Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, UKRAINE; e-mail: tatyana.zhemchuzhkina@nure.ua.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Носова, Я. В. Разработка блока цифровой обработки риноманометрического сигнала / **Я. В. Носова, О. Г. Аврунин, Т. В. Жемчужкина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 31-36. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

Please cite this article as:

Nosova, Ya., Avrunin, O., Zhemchuzhkina, T. Development of a digital processing unit for a rhinomanometric signal. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 2, 31-36, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Носова, Я. В. Розробка блоку цифрової обробки риноманометричного сигналу / **Я. В. Носова, О. Г. Аврунін, Т. В. Жемчужкіна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018 – № 26 (1302). – Т. 2. – С. 31-36. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.29.

АНОТАЦІЯ Розроблено структурну схему методу визначення порогу ольфакторної чутливості. Розроблено та реалізовано метод автоматизованого визначення порогу відчуття одорівектора. Даний поріг відповідає реакції пацієнта на поданий запах при рино-ольфактометричній оцінці нюхової чутливості людини. Таким чином, удосконалена методика визначення порогу ольфакторної чутливості, яка відрізняється тим, що дозволяє за рахунок аналізу форм циклограм носового дихання підвищувати об'єктивність діагностики порушень нюхової чутливості або респіраторно-нюхових порушень.

Ключові слова: чутливість нюхова; одорівектор; поріг чутливості; порушення дихально-нюхові; ольфактометрія

Поступила (received) 28.06.2018