

## СРАВНЕНИЕ ДИСКРИМИНАНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РИНОМАНОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

*О.Г. АВРУНИН, канд. техн. наук, В.В. СЕМЕНЕЦ, д-р. техн. наук,  
П.Ф.ЩАПОВ, д-р. техн. наук*

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
Национальный технический университет «ХПИ»

**Введение.** В последние десятилетия отмечен существенный рост распространенности заболеваний верхних дыхательных путей, среди которых патология носа и придаточных пазух занимает одно из ведущих мест. Так по данным [1] в Украине более 10% населения страдает хроническими воспалениями придаточных пазух носа - синуситами.

При заболеваниях верхних дыхательных путей наиболее часто нарушается дыхательная функция носа, что приводит к снижению качества жизни пациента и, в последствие, к сердечно-сосудистым патологиям, расстройствам центральной нервной системы. Эффективность терапии при этом существенно зависит от качества диагностики и, соответственно, от выбранной лечебной тактики [1].

**Актуальность проблемы.** Для объективного исследования наиболее важной функции верхних дыхательных путей – дыхательной, применяется метод риноманометрии, заключающийся в измерении перепада давления на носовых проходах и соответствующего расхода воздуха во время дыхания [2]. В настоящее время разработано большое число методов и средств для проведения риноманометрической диагностики. Однако анатомические особенности верхних дыхательных путей, сложность физиологического процесса дыхания и отсутствие фактического эталона, приводят к тому, что оценка носового сопротивления, характеризующего степень нарушения дыхания, существенно зависит от метода измерения и обладает значительной вариабельностью. Поэтому актуальной проблемой является расширение диагностических возможностей методов исследования и обоснование целесообразности применения данных методов при диагностике конкретных патологий.

**Постановка проблемы.** При разработке новых диагностических методов и средств заключительным этапом является сравнение дискриминантных характеристик предлагаемого метода с существующими. При этом важной задачей является выбор информативных параметров диагностики и контроля, а так же критерия, по которому будут сравниваться дискриминантные возможности методов.

Эффективность решения задач контроля состояний объектов со случайными свойствами зависит от правильного выбора максимально информативной системы параметров (признаков), чувствительных к изменениям характеристик объекта. Любой контроль формально реализует процедуру тестирования, эффективность результата которого определяется достоверностью, т.е. вероятностью принятия правильного решения [3]. При неопределенности свойств объекта задача отбора информативных параметров становится проблемной. Особенно, если затруднено метрологическое обеспечение информационных преобразований в структуре системы контроля.

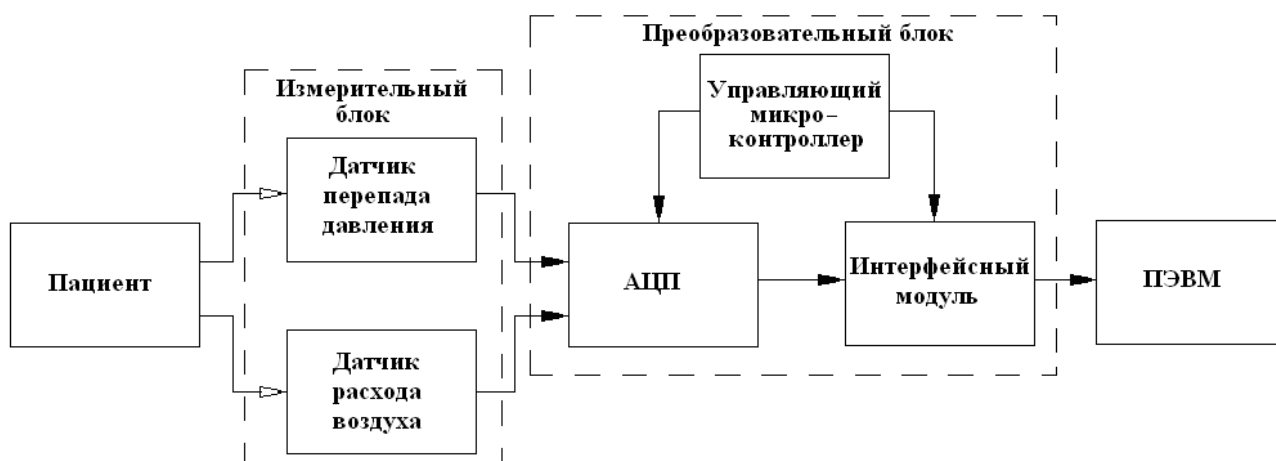
Анализ литературы. Выбор оптимальной, по критерию максимума достоверности, системы информационных признаков – это классическая задача статистического синтеза в условиях априорной неопределенности [4-6]. Ранжирование признаков по информативности осуществляют опять же по величине показателя достоверности контроля [7] или вероятности ошибок [8].

**Цель работы** – показать возможность использования критериев и моделей параметрического распознавания (дискриминации) при сравнении диагностических возможностей риноманометрических методов исследования.

**Основные принципы риноманометрической диагностики.** Проведение риноманометрии на современном этапе осуществляется с помощью специализированных компьютерных риноманометров, позволяющих в автоматизированном, или полуавтоматизированном режимах, определять параметры носового дыхания и проводить наглядную визуализацию результатов измерений [2]. При этом классическим методом измерений является метод передней активной риноманометрии при спокойном дыхании и анализе данных расхода воздуха при фиксированных значениях перепада давления (300 Па). Предлагаемый метод задней риноманометрии при форсированном дыхании позволяет оценить функцию носового клапана и получить информацию о предельных величинах перепада давления и расхода воздуха, что особенно важно для спортивной медицины. Сравнение методов диагностики проводилось на базе оториноларингологического отделения Харьковской областной клинической больницы с помощью разработанного устройства для измерения перепадно-расходных характеристик ТНДА-ПРХ (свидетельство о государственной метрологической аттестации № 05-0102 от 01.04.2010 г.). В состав данного устройства входят измерительный блок, содержащий дифференциальный датчик перепада давления воздуха между выходом из носовой полости и атмосферным, и датчик расхода воздуха, проходящего через носовые ходы во время дыхания. Последний основан на принципе расходомера Вентури [9]. Сигналы от датчиков поступают в преобразовательный блок, реализованный на базе многоканального измерительного модуля L-Card E14-140, основными компонентами которого являются управляющий микроконтроллер AVR AtMega8515, 14-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) LTC1416 и интерфейсный модуль PDIUSB12D для взаимодействия с ПЭВМ через USB – порт. Оцифрованные сигналы с датчиков давления и расхода с частотой дискретизации 500 Гц передаются через USB-интерфейс в ПЭВМ для дальнейшей обработки и анализа. Основными диагностическим показателем степени нарушения носового дыхания при стандартной риноманометрии является коэффициент  $K_R$  обобщенной оценки носового сопротивления

$$K_R = \frac{\Delta P}{Q}, \frac{\kappa\text{Па}}{\text{л/с}},$$

являющийся отношением измеряемых величин перепада давления  $\Delta P$  к расходу воздуха  $Q$ . Однако, учитывая, что коэффициент обобщенной оценки носового сопротивления при определении дискриминантных свойств методов диагностики дополнительной информации не несет (т.к. является только отношением измеренных величин), анализу будут подлежать распределения непосредственно измеряемых параметров: перепада давления и расхода воздуха.



**Модель линейной дискриминации.** Информативный параметр  $X$ , используемый для получения информации об априори неопределенных свойствах объекта контроля, может рассматриваться как случайная величина. Последняя, в случае двух состояний объекта ( $\Theta_0$  - норма,  $\Theta_1$  - нарушение нормы) характеризуется условными плотностями распределения вероятностей

$$\begin{aligned} X &\approx f(X/\Theta_0), \text{ если } \Theta \in \Theta_0, \\ X &\approx f(X/\Theta_1), \text{ если } \Theta \in \Theta_1. \end{aligned}$$

Если  $m^{(0)}, m^{(1)}, \sigma^{(0)^2}, \sigma^{(1)^2}$  – средние и дисперсии величины  $X$  для условий  $\Theta \in \Theta_0$ , и  $\Theta \in \Theta_1$  соответственно, то при гауссовских распределениях  $f(X/\Theta_0)$ ,  $f(X/\Theta_1)$  вероятность ошибки принятия решений в виде состояний объекта определяется, при  $\sigma^{(0)^2} = \sigma^{(1)^2}$ , через интеграл вероятности  $\Phi(\cdot)$  [10]

$$P_{ош} = 1 - \Phi(\delta/2), \quad (1)$$

$$\text{где } \delta = \left| \frac{m^{(0)} - m^{(1)}}{\sigma} \right|. \quad (2)$$

Если  $\sigma^{(0)^2} \neq \sigma^{(1)^2}$ , то нижняя граница для  $P_{ош}$  может оцениваться неравенством

$$P_{ош} \geq 1 - \Phi(\delta/2). \quad (3)$$

При многопараметрическом контроле, когда число информативных параметров  $X_1, \dots, X_n$  более одного ( $n \geq 2$ ) переменная  $\delta$  в выражениях (1) или (3) описывается уравнением

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2}. \quad (4)$$

Квадрат этой переменной

$$\delta^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{m_i^{(0)} - m_i^{(1)}}{\sigma_i} \right)^2$$

называют квадратичным махаланобисовым расстоянием между контролируемыми состояниями (между векторами средних по состояниям  $\Theta_0$  и  $\Theta_1$ ) [11].

Объект контроля в этом случае представляет собой вектор-столбец измеренных значений

$$\bar{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{pmatrix}$$

с условной  $n$ - мерной нормальной плотностью распределения

$$f(\bar{x}/\Theta_k) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |\Sigma|^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\bar{x} - \bar{m}^{(k)})\Sigma^{-1}(\bar{x} - \bar{m}^{(k)})\right]. \quad (5)$$

В уравнении (5) вектор средних  $\bar{m}^{(k)}$  и дисперсионная матрица  $\Sigma$  имеют вид ( $k$  – номер состояния объекта,  $k = \overline{0,1}$ ):

$$\bar{m}^{(k)} = \begin{pmatrix} m_1^{(k)} \\ m_2^{(k)} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ m_n^{(k)} \end{pmatrix}, \quad \Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & & & & & \\ & \sigma_2^2 & & & & \\ & & \cdot & & & \\ & & & \cdot & & \\ & & & & \cdot & \\ & & & & & \sigma_n^2 \end{pmatrix}.$$

Выражение (4) предполагает взаимную независимость составляющих вектора при линейной модели дискриминации [11].

Вероятность ошибки тем меньше, чем больше  $\delta$ , то есть чем больше нормированное по дисперсии квадрат расстояния между векторами средних.

Таким образом, переменные  $\delta$  (или  $\delta^2$ ) по выражению (4) позволяют количественно сравнивать по дискриминирующей способности (фактически, по информативности) не только одиночные информативные сигналы, но подмножества (системы) сигналов.

**Практическое применение модели дискриминации.** Рассмотрим задачу оценки эффективности двух методов риноманометрии, обозначенных как метод  $M_a$  с измерениями при спокойном дыхании, и метод  $M_b$  с измерениями при форсированном дыхании, которые обеспечивают получение измерительной информации о состоянии диагностического объекта, представленного:

- а) статической моделью (метод  $M_a$  риноманометрии при спокойном дыхании);
- б) динамической моделью (метод  $M_b$  риноманометрии при форсированном дыхании).

В методе  $M_a$  при спокойном дыхании измеряемые физические величины ( $X_1$  - перепад давления  $\Delta P$  и  $X_2$  - расход воздуха  $Q$ , количество измеряемых параметров  $n=2$ ), в отличие от метода  $M_b$  не коррелированы с длительностью интервала наблюдения. Состояния условной нормы и нарушения носового дыхания обозначаются соответственно  $\Theta_0$  и  $\Theta_1$ . Всего было обследовано 60 пациентов, разделенных на две группы по 30 человек в норме и при затруднении носового дыхания. Измерения для каждого пациента проводились двумя методами (при спокойном  $M_a$  и форсированном  $M_b$  вдохе) по десяти циклам дыхания соответственно. При этом по общему алгоритму для каждого метода вычислялись максимальные значения перепада давления  $\Delta P$  и расхода воздуха  $Q$  в верхних дыхательных путях пациента в каждом цикле вдоха, и проводилось их усреднение по десяти циклам дыхания. Затем, для каждой группы пациентов находились статистические показатели: средние значения  $m_1^{(0)} = \overline{\Delta P}$ ,  $m_2^{(0)} = \overline{Q}$ ,  $m_1^{(1)} = \overline{\Delta P}$ ,  $m_2^{(1)} = \overline{Q}$  соответственно в норме и при нарушении носового дыхания, а так же среднеквадратические отклонения соответствующих показателей, причем для расчетов выбирались максимальные значения среднеквадратических отклонений  $\sigma_1 = \max(\sigma_{\Delta P}^{(0)}, \sigma_{\Delta P}^{(1)})$  и  $\sigma_2 = \max(\sigma_Q^{(0)}, \sigma_Q^{(1)})$  соответственно. Далее согласно введенным обозначениям выполнялись расчеты

махаланобисового расстояния по формуле (4) и вероятности ошибки принятия решения по формуле (3) для каждого метода. Результаты расчетов приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Тип метода Состояние Параметр	Традиционный метод $M_b$		Предлагаемый метод $M_a$	
	$\Theta_0$	$\Theta_1$	$\Theta_0$	$\Theta_1$
$\overline{\Delta P}$ , кПа	0,30	0,3	8,7	16,5
$\sigma_{\Delta P}$ , кПа	0,07	0,07	2,25	2,70
$\overline{Q}$ , л/с	0,40	0,2	3,10	0,80
$\sigma_Q$ , л/с	0,07	0,05	0,95	0,43
$\delta$	2,77		3,78	
$P_{ОШ}$	$\leq 0,17$		$\leq 0,06$	

**Выводы.** Предложено сравнение дискриминантных характеристик методов риноманометрической диагностики с помощью расстояния Махаланобиса - меры расстояния между векторами случайных величин, обобщающего понятие евклидова расстояния.

Из приведенных в таблице 1 результатов, очевидно, что предложенный в работе метод риноманометрических измерений при форсированном дыхании обладает большими (в 1,4 раза) дискриминантными свойствами по сравнению с традиционным, и позволяет снизить вероятность ошибки при принятии диагностического решения с 0,17 до 0,06. Это позволяет использовать данный метод для функциональной диагностики верхних дыхательных путей.

Перспективой работы является разработка методов и критериев, позволяющих проводить дифференциальную диагностику патологий верхних дыхательных путей по данным риноманометрии.

**Список литературы:** 1. Мітін Ю.В., Криничко Л.Р. Сучасні питання етіології, патогенезу та лікування синуситів // Мистецтво лікування. – 2004. – № 3. – С. 52-55. 2. Аврунин О.Г., Бых А.И., Семенец В.В. Обоснование основных медико-технических требований для проектирования многофункционального риноманометра// Сб. научных трудов 3-й Международной научной конференции «Функциональная компонентная база микро-опто-и нано-электроники».- Х. ХНУРЕ.- 2010.- С. 280-281. 3. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – [Чинний від 1995-01-01].– К.: Держстандарт України 1994.– 24 с. 4. Миленький А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности (статистические методы самообучения в распознавании образов). М.: Сов. Радио, 1985.– 329с. 5. Раудис Ш. Ограниченность выборки в задачах классификации // Сборник «Статистические проблемы управления» – Вильнюс, 1976. – №. 18. – С. 1-185. 6. Щапов П.Ф. Оптимизация пространства информационных параметров на основе ковариационных моделей дисперсионного анализа // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – №2. – С. 59 – 62. 7. Малайчук В.П., Мозговой О.В., Петренко О.М. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 8. Осина Т.Г. Использование параметрических дискриминантных функций в задачах измерительного контроля качества // Вестник НТУ "ХПИ". – 2006. – №9. – С.103– 107. 9. Аврунин О.Г. Методика расчета диаметра сопла Вентури для устройства по определению перепадно расходных характеристик носовых проходов // Прикладна гідромеханіка, гідромашини і гідропневмоагрегати. –2010, Т2. – № 28. – С.62–66. 10. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Пер. с англ. под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Мир, 1981. – 520 с. 11. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен / Пер. с англ. под ред. В.Л. Стефанюк. – М.: Мир, 1976. – 512 с.