

А.Л. Ерохин¹, А.С. Нечипоренко²¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ayerokhin@ukr.net²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, alinanechiporenko@gmail.com

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИИ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ

Статья посвящена разработке формальной модели диагностики функции носового дыхания. Рассмотрены основные методы объективной оценки носового дыхания. Проанализирован математический аппарат, используемый в задачах медицинской диагностики. Исследована возможность использования методов искусственного интеллекта для диагностики носового дыхания. Выполнена структурная и параметрическая идентификация модели процесса диагностики на базе нечёткой логики.

МОДЕЛИ НОСОВОГО ДЫХАНИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ, СТРУКТУРНАЯ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Введение

При разработке современных интеллектуальных медицинских систем одним из наиболее важных остается вопрос разработки формальных моделей диагностики функциональных состояний человека, в частности, функций носового дыхания. Нарушение функции носового дыхания ведёт к резкому снижению качества жизни. При этом количество пациентов с затруднённым носовым дыханием с каждым годом стремительно растёт [1]. Таким образом, диагностика нарушения функции носового дыхания — актуальная проблема современной ринологии. Для диагностики нарушений функции носового дыхания в медицинской практике используют две группы методов: субъективные и объективные. К субъективным методам относят оценку по визуально-аналоговой шкале VAS, оценку симптомов носовой обструкции NOSE (Nasal obstruction symptom evaluation) синусо-назальный тест SNOT-20 [2]. К объективным — компьютерную и магнитно-резонансную томографии (КТ и МРТ), исследования носового воздушного потока, а именно риноманометрию и акустическую ринометрию [3].

Согласно рекомендациям международного комитета по оценке функции носового дыхания, в лор-практике используется следующий протокол: КТ, МРТ, риноманометрия и акустическая ринометрия. С помощью томографических методов визуализируется пространственное отображение взаимоотношений внутриносовых структур и околоносовых пазух, что позволяет судить о характере изменений анатомических конфигураций и их влиянии на развитие патологического процесса, также можно оценить характеристику тканей по их рентгеновской плотности. Акустическая ринометрия позволяет исследовать геометрию полости носа и рассчитать площади поперечных сечений и объем носовой полости. В результате измерений по методу риноманометрии регистрируются две величины: дифференциальное давление и расход

воздушного потока. Для оценки результатов риноманометрии производится расчёт коэффициента носового сопротивления [4]. Согласно стандарту носовое сопротивление рассчитывается для значений дифференциального давления $\Delta p = 75, 100$ и 150 Па. Также применяется расчет носового сопротивления по модели Бромса, согласно которой коэффициент сопротивления определяется на окружности с радиусом в 200 единиц по дифференциальному давлению и расходу [5]. Наиболее достоверной, с точки зрения гидродинамики, является оценка данных риноманометрии по методике Рёхрера [6].

Степень обструкции носового дыхания может быть классифицирована по значению носового сопротивления R_{150} [7] или резистометрически по значению носового сопротивления при фиксированной скорости объемного потока [8]. Таким образом, отоларинголог сталкивается с множеством диагностических параметров и симптомов, которые необходимо проанализировать. А учитывая, что при всех видах риноманометрических исследований понятие нормы расплывчато и имеет множество интерпретаций, задача медицинской диагностики ещё более усложняется. Следует также отметить, что данные литературных источников [9, 10] свидетельствуют о слабости дифференциальной диагностики функции носового дыхания. Таким образом, проблема диагностики функции носового дыхания является актуальной научно-практической задачей, а процесс диагностики целесообразно рассматривать как объект математического моделирования.

1. Анализ литературы и постановка задачи

В литературных источниках [11–13] выделяют три основных подхода к задаче медицинской диагностики: вероятностный, детерминистский и логический. Таким образом, для задач дифференциальной диагностики нарушений носового дыхания в арсенале врача имеется широкий спектр

математических методов. Для медицинской диагностики наиболее часто используются вероятностно-статистические методы, а именно метод Байеса. Данный метод основывается на выборе симптомов, характерных для конкретной патологии и позволяет пересчитывать априорные вероятности заболеваний в апостериорные вероятности этих заболеваний согласно (1).

$$P(d_j / X^*) = \frac{P(d_j)P(X^* / d_j)}{\sum_{j=1}^m P(d_j)P(X^* / d_j)}, \quad (1)$$

где $P(d_j)$ — априорная вероятность диагноза d_j , $j = \overline{1, m}$; $P(X^* / d_j)$ — условная вероятность диагноза d_j при наборе симптомов $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$; $P(d_j / X^*)$ — апостериорная вероятность диагноза d_j при наличии у пациента набора симптомов X^* . По результатам вычисления апостериорных вероятностей всех возможных диагнозов, выбирается диагноз с наибольшей вероятностью [14]. Однако лор-патологии характеризуются пересекающимися наборами симптомов, что делает возможным его применение только для первичной диагностики.

Также часто используется регрессионный анализ, который позволяет вычислить значение некоторого выходного параметра, определяющего соответствующий диагноз. Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n, \quad (2)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_n$ — коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов, $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ — вектор входных переменных (симптомов), влияющих на выходной параметр y . Основным недостатком данного метода является необходимость наличия большой выборки экспериментальных данных и зависимость от условий эксперимента [15].

Из группы детерминистских методов можно отметить метод фазового интервала. При использовании детерминистских методов задачу удобно формулировать геометрически. Рассматривается n -мерное пространство, которое характеризуется вектором X , любое состояние системы представляет собой точку в n -мерном пространстве симптомов. Каждая координата $x_i, i = \overline{1, n}$ пространства соответствует одному из симптомов. Точка $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ фазового пространства соответствует диагнозу $d_j, j = \overline{1, m}$. Области диагнозов считаются непересекающимися. Основываясь на верифицированных диагнозах, в фазовом пространстве выделяются области $D_1, D_2, \dots, D_m$, соответствующие диагнозам $d_1, d_2, \dots, d_m$, центр которых определяется точками $C_1, C_2, \dots, C_m$. Тогда интервал между точками X^* и C_j фазового пространства определяется как $R(X^*, C_j)$, где точка X^* соответствует диагностируемому больному. Тогда в качестве диагноза d_j^* , соответствующего вектору параметров

$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ выбирается точка C_j^* или область D_j^* для которой $R(X^*, C_j) = \min \{R(X^*, C_j)\}$, $j = \overline{1, m}$ [18]. Таким образом, отнести состояние системы к тому или иному диагнозу — значит найти наименьшее расстояние от соответствующей точки пространства признаков до одного из центров областей, соответствующих различным диагнозам. Для вычисления интервала между точками пространства используются расстояние по Хеммингу или декартово расстояние. Однако, если центр одной из областей попадает в другую область, в окрестности центра области диагностика будет выполнена неверно [16]. К тому же, данные методы не учитывают как внутреннюю структуру исследуемого объекта, так и причинно-следственные связи между симптомами и диагнозом.

Третьей группой математических методов, наиболее часто используемых в задачах медицинской диагностики являются методы, основанные на аппарате логики предикатов [15]. Диагноз d_j^* может быть поставлен больному с вектором параметров $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, используя правила «ЕСЛИ-ТО», когда формируется последовательность рассуждений для доказательства справедливости утверждения: ЕСЛИ $x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*$, ТО d_j^* [17]. Однако, для знаний, имеющих нечёткую, вероятностную природу, такие методы не пригодны. Следует также отметить, что все методы, рассмотренные выше, имеют два общих недостатка — это невозможность учёта качественных параметров и работы с нечёткими знаниями. Поэтому начиная с середины девяностых годов предыдущего столетия, начинают активно развиваться модели и алгоритмы решения задач медицинской диагностики на базе нечёткой логики. Такие модели позволяют описывать причинно-следственные связи между параметрами состояния больного и диагнозом на основе исходной нечисловой и нечёткой информации.

Типовая структура модели нечёткого логического вывода содержит основные блоки [18]: фазификации, где происходит преобразование вектора диагностических параметров X в вектор нечёткий множеств $\tilde{X}$, необходимых для выполнения нечёткого логического вывода; нечёткой базы знаний, в которой содержится информация о зависимости $Y = f(X)$ в виде лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО»; нечёткого логического вывода, где на основании правил базы знаний определяется значение выходной переменной в виде нечёткого множества $\tilde{Y}$ соответствующего нечётким значениям входных диагностических параметров $\tilde{X}$; блок настройки функции принадлежности, где определяется степень принадлежности входного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ нечётким термам из базы знаний; блок дефазификации, где осуществляется преобразование выходного нечёткого множества $\tilde{Y}$ в чёткое

число Y . Их основной недостаток это трудоемкость процессов формализации понятий, построения функций принадлежности и формирования правил вывода. В то же время, экспертные системы на основе нечёткой логики являются простыми и удобными на практике. Они хорошо зарекомендовали себя в кардиологии [15], неврологии [19] и др.

В связи со стремительным развитием методов объективной диагностики функции носового дыхания, когда врач сталкивается с проблемой обработки больших массивов диагностических параметров при отсутствии физиологической нормы носового дыхания, целесообразной является разработка математической модели процесса диагностирования на базе методов искусственного интеллекта. Целью данной работы является формализация процесса диагностики нарушений функции носового дыхания на базе нечёткой логики.

2. Моделирование процесса диагностики в ринологии

Объектом идентификации в данном случае является процесс дифференциальной диагностики заложенности носа. Для построения модели необходимо выбрать её структуру, определяющую взаимосвязь наблюдаемых данных через совокупность параметров, а также сформировать входные воздействия. Таким образом, необходимо осуществить структурную и параметрическую идентификацию модели процесса диагностики ринологических заболеваний. Задача диагностики в данном случае рассматривается как процесс принятия решения в системе с одним выходным параметром, т.е. диагнозом и множеством входных (симптомов). Формирование нечёткой базы знаний (БЗ) на этапе структурной идентификации представляет собой формализацию причинно-следственных связей «диагностические параметры – диагноз» с помощью лингвистических правил «ЕСЛИ-ТО». Таким образом, медицинская информация, содержащаяся в историях болезни и базе данных диагностических параметров риноанометрических измерений должна описываться нечёткими логическими уравнениями.

Для записи и обработки диагностических параметров носового дыхания, авторами было разработано программное обеспечение на основе платформы «.NET» [20]. Окна визуализации диагностической информации приведены на рис. 1, 2.

Пусть d – некоторый выходной параметр, значения которого определяет диагноз, $x_1, x_2, \dots, x_n$ – входные диагностические параметры, тогда диагноз выражается как:

$$d = f_d(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (3)$$

где f_d – некоторая функция устанавливающая связь между переменными $x_i, i = \overline{1, n}$ и d .

	R150 (Без Анемизации)	R100 (Без Анемизации)	R75 (Без Анемизации)	R150 (С Анемизацией)	R100 (С Анемизацией)	R75 (С Анемизацией)	R150 (С Аллергеном)	R100 (С Аллергеном)	R75 (С Аллергеном)
Right Ins	1,01	1,02	0,98	1	1	1	0	0	0
Left Ins	1	1	0,99	0,99	1	0,98	0	0	0
Total Ins	0,5	0,5	0,49	0,5	0,5	0,49	0	0	0
Right Exp	1,02	1,01	1,02	1	1,01	0,99	0	0	0
Left Exp	1,01	1,01	1	1,01	1	1	0	0	0
Total Exp	0,51	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0

Рис. 1. Окно визуализации коэффициентов носового сопротивления

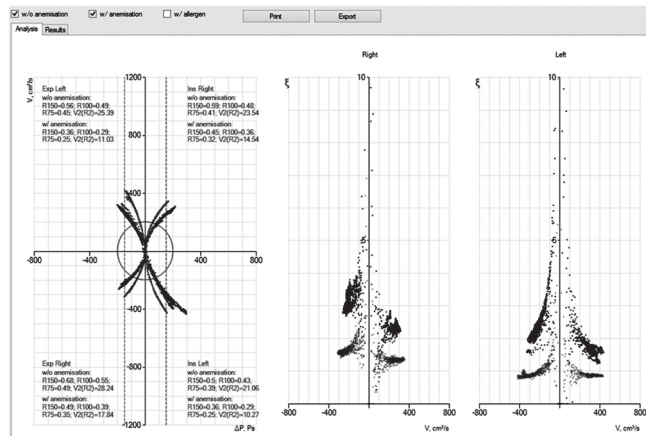


Рис. 2. Окно визуализации графических зависимостей риноанометрических данных

В задачах ринологической диагностики мы имеем дело как с количественными параметрами (коэффициенты носового сопротивления, размеры анатомических конфигураций носовой полости, данные КТ и МРТ и т.д.) так и с качественными (например, состояние больного, оцениваемое по субъективной шкале) параметрами состояния больного. Пусть $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ – вектор параметров состояния больного, где $x_i^* \in U_i, i = \overline{1, n}$, тогда задача диагностики заключается в определении диагноза $d^* \in W$. Необходимым условием формального решения такой задачи является наличие зависимости (3). Для установления данной зависимости необходимо рассматривать параметры, характеризующие состояние больного и диагноз как лингвистические переменные, заданные на универсальных множествах (4), (5) или дискретных множествах (6), (7):

$$U_i = [x_i, \bar{x}_i], i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $x_i, \bar{x}_i$ – нижнее (верхнее) значение входного параметра x_i ;

$$W = [d, \bar{d}], \quad (5)$$

где $d, \bar{d}$ – нижнее (верхнее) значение выходного параметра d :

$$U_i = \{v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i}\}, i = \overline{1, n} \quad (6)$$

где $v_i^1 (v_i^{q_i})$ – оценка по бальной шкале, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению входного параметра x_i ;

$$W = \{w^1, w^2, \dots, w^{q_m}\}, \quad (7)$$

где $w^1(w^{q_m})$ — оценка по бальной шкале, соответствующая наименьшему (наибольшему) значению выходного параметра d .

Для оценки лингвистических переменных $x_i, i = \overline{1, n}$ и d используются качественные термы из следующих терм-множеств: $A_i = \{a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^{p_i}\}$ — терм-множество переменной $x_i, i = \overline{1, n}$, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ — терм-множество переменной d , где a_i^p — p -ый лингвистический терм параметра $x_i = \overline{1, p_i}, i = \overline{1, n}$ и d_j — j -ый лингвистический терм параметра d , совпадающий с названием j -го диагноза, m — число ринологических диагнозов.

Поскольку для определения степени обструкции носового дыхания в международной ринологической практике преимущественно используются количественные параметры, то нечёткие множества a_i^p и d_j запишем в виде:

$$a_i^p = \int_{x_i}^{\overline{x_i}} \mu(a_i^p, x_i) / x_i, \quad (8)$$

где $\mu(a_i^p, x_i)$ — функция принадлежности входного параметра $x_i \in [x_i, \overline{x_i}]$ терму $a_i^p \in A_i, p = \overline{1, p_i}, i = \overline{1, n}$;

$$d_j = \int_d^{\overline{d}} \mu(d_j, d) / d, \quad (9)$$

где $\mu(d_j, d)$ — функция принадлежности значения выходного параметра $d \in [d, \overline{d}]$ терму-диагнозу $d_j \in D, j = \overline{1, m}$. Тогда степень принадлежности входного вектора $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ нечётким термам d_j из базы знаний определяется системой нечётких логических уравнений:

$$\mu^{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1}^{k_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{j_p}(x_i) \right], j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

где k_j — число совокупностей диагностических параметров с диагнозом $d_j, j = \overline{1, m}$, m — число диагнозов, $\mu^{d_j}(X^*)$ — зависящая от n — переменных, функция принадлежности вектора параметров $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ диагнозу $d_j, j = \overline{1, m}$. При этом количественное измерение качественных параметров обеспечивается за счёт введения искусственных шкал универсальных множеств типа (6), (7). Идентификация лингвистического термина происходит по максимуму функции принадлежности:

$$\mu^d(X^*) = \max_{j=\overline{1, m}} [\mu^{d_j}(X^*)]. \quad (11)$$

Этому решению будет соответствовать искомым диагноз больного с вектором параметров $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$. Для настройки нечёткой БЗ необходимо найти такие параметры функций принадлежности термов входных переменных и весовых коэффициентов правил, которые минимизируют отклонение между желаемым и действительным поведением нечёткого классификатора

на обучающей выборке. Таким образом, настройка нечёткого классификатора сводится к решению задач оптимизации. Хорошие результаты настройки функции принадлежности даёт применение генетических и иммунных алгоритмов [21, 22]. На заключительном этапе производится дефазификация, например, по методу центра тяжести, который наиболее часто используется для таких задач.

Для проверки адекватности построенной модели в рамках принятых допущений и ограничений проводится оценка значений параметров в соответствии с принятым критерием качества. Заключительным этапом является процедура верификации модели.

Выводы

В работе проанализированы основные математические методы, используемые в задачах медицинской диагностики. Исследована возможность использования методов искусственного интеллекта для диагностики в ринологии. Осуществлена структурная и параметрическая идентификация модели процесса диагностики нарушений носового дыхания, для чего проведена формализация процесса диагностики на базе нечёткой логики.

Перспективным направлением для задач прогнозирования в ринологии является интеллектуальная обработка сигналов носового дыхания. Данный вопрос поднимался в работах [23–25], однако повышение эффективности диагностирования было достигнуто только для дифференциальной диагностики вазомоторных и аллергических ринитов. Поэтому целесообразно для обработки характеристик биосигналов с целью выявления закономерностей, по которым в дальнейшем можно проводить диагностику, использовать аппарат искусственного интеллекта.

Задачу построения модели по экспериментальным данным целесообразно решать путём комплексного использования нечёткой логики, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. Поэтому дальнейшие исследования должны идти по пути создания гибридных нейро-фаззи систем с настройкой параметров с помощью эволюционных алгоритмов. Данный подход позволяет объединить такое преимущество фаззи-систем как обеспечение сложного отображения вход-выход в форме базисных правил, основываясь на восприятии и имеющейся в наличии априорной информации [26] и способность искусственных нейронных сетей к обучению. Таким образом, нейро-фаззи сети обучаются как нейронные сети, а строят объяснения как системы нечёткого вывода. Исходная совокупность диагностических параметров для задач диагностики функции носового дыхания дополнится характеристиками сигналов дифференциального давления и расхода

воздушного потока, регистрируемых в процессе риноманометрических измерений. Например, это могут быть спектральные характеристики выше приведенных сигналов, полученные с помощью модифицированного ковариационного метода.

Ещё одним перспективным направлением диагностики в ринологии является анализ с помощью искусственных нейронных сетей временных рядов дифференциального давления и расхода воздушного потока.

Список литературы: 1. *Segboer C. L.* Quality of life and use of medication in chronic allergic and non-allergic rhinitis patients / C.L. Segboer, C.T. Holland, S.M. Reinartz, I. Terreehorst, A. Gevorgyan, P.W. Hellings, C.M. Van Drunen, W.J. Fokkens // *Rhinology*. — 2014. — 52. — P. 167. 2. *Jay, F.* Sino-nasal outcome test (SNOT-20) / F. Jay, M. D. Piccirillo // Washington University School of Medicine, St. Louis, Missouri — 1996. — 2. — P. 2–5. 3. *Clement P. A.* Standardisation Committee on Objective Assessment of the Nasal Airway. Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry / P.A. Clement, F. Gordts // *Rhinology*. — 2005. — 43. — P. 169–179. 4. *Clement P. A.* Committee report on standardization of rhinomanometry / P. A. Clement // *Rhinology*. — 1984. — 22(3). — P. 151–155. 5. *Broms P.* Rhinomanometry. II. A system for numerical description of nasal airway resistance / P. Broms, B. Jonson, C. J. Lamm // *Acta Otolaryngology*. — 1982. — 94(1-2). — P. 157–168. 6. *Ruhrer F.* Der Stromungswiderstand in der menschlichen Atemwegen / F. Ruhrer // *Pflügers Arch Ges Physiology*. — 1915. — 162. P. 225–295. 7. *Гарюк О.Г.* Риноманометрия (Сообщение 2: Современное состояние и перспективы) / О.Г. Гарюк // *Ринология*. — 2013. — 3. — С. 32–45. 8. *Mlynski G.* Diagnosis of respiratory function of the nose / G. Mlynski, A. Beule // *HNO. Springer medizin verlag*. — 2008. — 56(1). — P. 81–99. 9. *Thulesius H. L.*, Rhinomanometry in clinical use. A tool in the septoplasty decision making process : doctoral dissertation, clinical sciences / H.L. Thulesius — 2012. — 67 p. 10. *Broms P.* Rhinomanometry. IV. A pre and postoperative evaluation in functional septoplasty / P. Broms, B. Jonson, L. Malm // *Acta Otolaryngol* — 1982. — 94(5-6). — P. 523–529. 11. *Степанова М. Д.* Прикладные интеллектуальные системы в области медицины / М. Д. Степанова, С. А. Самодумкин // Учебно-методическое пособие. — Мн.: БГУИР, 2000, с. 38. 12. *Мельников В. Г.* Медицинская кибернетика / В. Г. Мельников // Под редакцией Мисюренко И. В. — Харьков: Полиграфкнига. — 1978. — 112 с. 13. *Гублер Е. В.* Вычислительные методы распознавания патологических процессов / Е. В. Гублер // Л.: Медицина. — 1980. — 342 с. 14. *Bayes Th.* An essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances / Th. Bayes // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. — 1763. — P. 53. 15. *Ротштейн А. П.* Медицинская диагностика на нечёткой логике / А. П. Ротштейн // Винница: Континент-ПРИМ. — 1996. — 132 с. 16. *Становская Т. П.* Интеллектуализация метода фазового интервала / Т. П. Становская, М. В. Закусило // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Автоматика та інформаційно-вимірвальна техніка. — 2006. — 6. — С. 22–26. 17. *Ротштейн А. П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн // Винница: УНИВЕРСУМ — Винница. — 1999. — 320 с.

18. *Штовба С. Д.* Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С. Д Штовба // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. — 2003. С. 9–15. 19. *Телишевская А. В.* Идентификация модели медицинской системы на базе нечёткой логики / А. В. Телишевская, А. И. Поворознюк // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2013. — № 39(2012). — С. 177–181. 20. *Нечипоренко А. С.* Технические аспекты риноманометрии / А. С. Нечипоренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. — № 4/9(64). — С. 11–14. 21. *Lambrou A.* Reliable Confidence Measures for Medical Diagnosis with Evolutionary Algorithms / A. Lambrou, H. Papadopoulos and A. Gammerman // *IEEE Transactions on information in biomedicine*. — 2011. — 21 (1), — P. 93–99. 22. *A. A. Spadoto* Improving Parkinson's Disease Identification Through Evolutionary-Based Feature Selection / A. A. Spadoto, R. C. Guido, F. L. Carnevali, A. F. Pagnin, A. X. Falcão, J. P. Papa // 33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Boston, Massachusetts USA, — 2011. — P. 7857–60. 23. *Seren E.* Frequency spectra of normal expiratory nasal sound / E. Seren // *Am J Rhinol*. — 2005. — 19. P. 257–261. 24. *Нечипоренко А. С.* Особенности применения спектрального анализа для объективной оценки носового дыхания / А. С. Нечипоренко // Бионика интеллекта. — 2013. — № 2(81). С. 64–68. 25. *Ерохин А. Л.* Объективное оценивание функции носового дыхания по риноманометрическим данным / А.Л. Ерохин, И.П. Захаров, А.С. Нечипоренко, О.Г. Гарюк // Восточно-европейский журнал передовых технологий № 4/9(70), 2014. С. 47–50. 26. *Бойко В.В.* Анализ клинических данных в медицинских исследованиях на основе методов вычислительного интеллекта / В.В. Бойко, Е.В. Бодянский, Е.А. Винокурова, С.В. Сушков, А.А. Павлов // Харьков: ТО Эксклюзив, 2008. — 120 с.

Поступила в редколлегию 13.05.2014

УДК 004.942

Формальні моделі диференційної діагностики функції носового дихання / А. Л. Єрохін, А. С. Нечипоренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 61–65.

У статті розглянуто особливості застосування математичного апарату у задачах медичної діагностики. Запропоновано формальну модель процесу діагностики порушень функції носового дихання на базі нечіткої логіки. Визначено подальші шляхи підвищення ефективності лор-діагностики з використанням штучного інтелекту.

Л. 2. Бібліогр.: 26 найм.

UDC 004.942

Formal models of differential diagnosis of nasal breathing function / A. L. Yerokhin, A. S. Nechiporenko // *Bionics of Intelligence: Sci. Mag.* — 2014. — № 2 (83). — P. 61–65.

The paper describes the basic approaches for medical diagnosis. The analysis of existing methods of an assessment of nasal breath is carried out A formal model of diagnosis of nasal breathing function is proposed. Prospects for the using of artificial intelligence methods for the diagnosis of nasal breathing are shown.

Fig. 2 Ref.: 26 items.