

УДК 615.47

**Я.В. Носова**¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
г. Харьков, Украина, пр. Науки 14, 61166 nyav007@gmail.com**К ВОПРОСУ О ФОРМАЛИЗАЦИИ ДИАГНОСТИКИ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ**

Обоснована необходимость использования лингвистических переменных и аппарата нечеткой логики для формализации диагностики обонятельных нарушений с целью повышения объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений. Предложена классификация степени нарушения восприятия запахов, которая состоит из четырех интервалов. Оценка точности разработанной классификации составила 92 % и проведена на основе разработанной модели нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования, которая основана на алгоритме Мамдани, сформулирована база правил нечетких продукций. Модель содержит три входные и одну выходную лингвистическую переменную. Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств, для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР ОБОНЯТЕЛЬНЫЙ, ОДОРИВЕКТОР, ПЕРЕМЕННАЯ ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ, МАМДАНИ АЛГОРИТМ

Носова Я.В. До питання формалізації діагностики нюхових порушень. Обґрунтовано необхідність використання лінгвістичних змінних і апарату нечіткої логіки для формалізації діагностики нюхових порушень з метою підвищення об'єктивності діагностики дихально-нюхових порушень. Запропоновано класифікацію ступеня порушення сприйняття запахів, яка складається з чотирьох інтервалів. Оцінка точності розробленої класифікації склала 92% і проведена на основі розробленої моделі нечіткого логічного висновку процесу ольфактометричного дослідження, яка заснована на алгоритмі Мамдані, сформульована база правил нечітких продукцій. Модель містить три вхідні і одну вихідну лінгвістичну змінну. Перспективою роботи є застосування інтервальних нечітких множин, для виявлення допустимих відхилень в розробленій класифікації чутливості нюху.

ОЛЬФАКТОМЕТРИЯ, АНАЛИЗАТОР НЮХОВИЙ, ОДОРИВЕКТОР, ЗМІННА ЛІНГВІСТИЧНА, МАМДАНІ АЛГОРИТМ

Nosova Y.V. On the question of formalizing the diagnosis of olfactory disorders. The necessity of using linguistic variables and the fuzzy logic apparatus for formalizing the diagnosis of olfactory disorders with the purpose of increasing the objectivity of diagnosis of respiratory and olfactory disturbances is substantiated. A classification of the degree of impaired perception of odors is proposed, which consists of four intervals. The estimation of the accuracy of the developed classification was 92% and was carried out on the basis of the developed model of fuzzy logical inference of the olfactometric research process, which is based on the Mamdani algorithm, the basis for the rules of fuzzy products was formulated. The model contains three input and one output linguistic variable. The prospect of work is the use of interval fuzzy sets to identify the permissible deviations in the developed classification of olfactory sensitivity.

OLFACTOMETRY, OLFACTORY ANALYZER, ODORIVEKTOR, VARIABLE LINGUISTIC, MAMDANI ALGORITHM

Введение

Обоняние играет важную роль в нашем взаимодействии с окружающей средой. Обонятельная система действует не только для выявления потенциальных опасностей в окружающей среде, таких как дым, газ или пыль, но и влияет на наше питание, социальное поведение, и общее самочувствие [1].

На сегодняшний день известно много методик тестирования функции обоняния, однако не существует единого общепринятого универсального метода из-за ряда трудностей связанных с формализацией субъективной составляющей процесса диагностики нарушений обонятельного анализатора. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых подходов к диагностике обонятельных нарушений, которые позволят повысить объективность диагностики.

Прогнозирование на базе нечеткой логики позволяет осуществить описание причинно-след-

ственных связей между входными показателями и конкретным прогнозом или диагнозом в виде высказываний на естественном языке, и следовательно, дает возможность провести логическую формализацию экспертного заключения [1-2]. Поэтому методы нечеткой логики нашли широкое применение в различных отраслях медицины, например в кардиологии [3] для определения локализации инфаркта.

Особенностью лингвистических переменных используемых в медицине является полное отсутствие их числового значения.

Например, при боли в спине, пациент описывает свои ощущения словами типа «сильная боль», которые трудно формализовать и измерить. Традиционно в математике используют четкое (четко определенное) свойство $P(x)$, то есть свойства, которые являются либо истинными, либо ложными. Каждое свойство задает множество:

$\{x | x \text{ имеет свойство } P\}$. В 1965 году Л. Заде [3] предложил теорию, объясняющую, как формализовать «нечеткие» свойства: четкое свойство P может быть описано характеристической функцией μ : $X \rightarrow \{0,1\}$. Нечеткое свойство можно описать как функцию μ (функция принадлежности): $X \rightarrow [0,1]$. Значение $\mu(x)$ указывает степень, в которой x обладает свойством (например, какому именно x соответствует степень боли). Пример представления значения «высокая температура» в медицинской науке как нечеткого набора показан на рис. 1 [5].

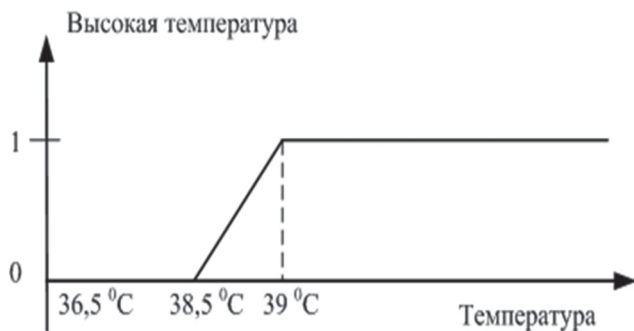


Рис. 1. Пример представления функции принадлежности терма «высокая температура» [4]

Кроме того, набор значений переменной часто зависит от субъективного восприятия врача. В работе [6] предлагается использовать неравномерное распределение значений лингвистических переменных по числовой шкале, с учетом их информативности при создании медицинских интеллектуальных систем принятия решения.

Также аппарат нечеткой логики используют для проверки точности классификации. В работе [7] проводили тестирование электронного носа для восьми различных газов: бутанола, уксусной кислоты, ацетона, бензола, хлороформа, дихлорметана, этилацетата и серной кислоты. Экспериментальные результаты показали, что точность классификации с использованием нечеткого логического подхода может быть получена до 93,75%. В дальнейшем такой подход может быть применен к другим пробам газа для проверки точности классификации газов электронным носом.

Таким образом, применение лингвистических переменных и нечеткой логики в медицине является эффективным инструментом, для повышения качества и объективности диагностики дыхательно-обонятельных нарушений.

1. Цель и постановка задачи

Целью работы является формализация подхода к диагностированию дыхательно-обонятельных нарушений на основе применения лингвистических переменных аппарата нечеткой логики.

Задачами исследования являются:

1. Процесс восприятия запаха человеком необходимо представить в виде структуры нечеткой логики:

— сформулировать входные и выходные лингвистические переменные;

— сформулировать базу правил системы нечеткого вывода;

— разработать модель нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования;

2. Разработать классификацию степени нарушения обоняния.

3. Оценить точность классификации с помощью разработанной модели нечеткого логического вывода.

2. Разработка структуры модели нечеткого логического вывода

Оценка функции обоняния является сложным диагностическим процессом, так как основана на субъективном ощущении запаха пациентом.

Для выявления нарушений функций обонятельного анализатора используют методику ольфактометрии.

Ольфактометрия (от лат. *Olfacio* — обоняние и др. греч. *Μέτρον* — мера, измерение) — это методика, которая позволяет измерить чувствительность обонятельного анализатора путем воздействия на него специфическими пахучими веществами (одоривекторами).

Также целью ольфактометрии, кроме распознавания запахов, является определение обонятельной чувствительности (порог обоняния), что соответственно влияет на определение степени нарушения функции обонятельного анализатора человека [8].

Словесные субъективные ответы пациента по степени восприятия запаха можно представить в виде субъективных категорий. Например, «плохо», «хорошо», «слабо», «отлично», «не ощущается» запах во время проведения ольфактометрического исследования. Таким образом, имеет место лингвистическая неопределенность, связанная с неточностью описания искомой величины — обонятельная чувствительность. Поэтому целесообразно процесс восприятия запаха человеком представить в виде структуры нечеткой логики.

Для решения поставленных цели и задач проводились исследования с помощью устройства для тестирования респираторных нарушений обоняния, представленного на рис. 2 [9]. Работа выполнялась в рамках сотрудничества между кафедрой биомедицинской инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники и кафедрой оториноларингологии Харьковского национального медицинского университета.

Во время исследования обонятельной функции человека пациенту предлагают понюхать несколько различных одоривекторов. Пациент выполняет дыхательные маневры с постепенным увеличением их интенсивности и фиксирует время появления порога ощущения одоривектора, далее выполняются расчеты пневматической мощности и энергии дыхания. Способ повышения объективности ольфактометрических исследований предполагает

применение трех одоривекторов: нашатырный спирт, уксусная кислота, настойка валерьяны [10].



Рис. 2. Устройство для тестирования респираторных нарушений обоняния [9]

Таким образом, для моделирования структуры нечеткого логического вывода предлагается использовать три входные лингвистические переменные и одну выходную.

Лингвистическая переменная представляет собой кортеж вида: $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где β — наименование переменной, T — множество значений лингвистической переменной, которое состоит из наименований нечетких переменных, X — область определения лингвистической переменной, G — синтаксическая процедура, позволяющая генерировать из множества новые осмысленные значения, M — семантическая процедура, позволяющая поставить в соответствие полученным с помощью процедуры новым значениям, некоторое нечеткое множество [5].

В качестве входных параметров системы нечеткого вывода будем использовать такие лингвистические переменные: «одоривектор_1», «одоривектор_2», «одоривектор_3», а в качестве выходных параметров — нечеткую лингвистическую переменную «обонятельная_чувствительность».

В качестве терм-множества входных лингвистических переменных будем использовать множество $T1 = \{\text{отлично, хорошо, слабо, не ощущается}\}$, что соответствует степени ощущения одоривектора обследуемым.

Структура нечеткой модели оценки степени нарушения обонятельной функции представлена на рис. 3.



Рис. 3. Структура модели нечеткого вывода «Ольфактометрия»

В качестве терм-множества для выходной лингвистической переменной будем использовать множество $T2 = \{\text{«высокая», «средняя», «низкая», «отсутствует»}\}$.

Область определения лингвистических переменных [0 30] Дж. Синтаксические и семантические процедуры не используются.

3. Выбор параметров модели нечеткого логического вывода

Моделирование проводили с помощью алгоритма Мамдани, так как для задач, где более важным является объяснение, обоснование принятого решения, согласно работы Штовбы С.Д. [11] будут иметь преимущество нечеткие модели типа Мамдани в сравнении с использованием нечетких моделей типа Сугэно.

В системах, где используется алгоритм Мамдани обычно применяются следующие параметры [11–12]:

- для конъюнкции — операция минимума;
- для дизъюнкции — операция максимума;
- для импликации — операция минимума;
- для агрегации — операция максимума;
- для дефазификации — метод центра тяжести

(1).

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}, \quad (1)$$

где y — результат дефазификации; x — переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной «обонятельная_чувствительность»; $\mu(x)$ — функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной «обонятельная_чувствительность» после этапа аккумуляции; Min и Max — левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества выходной переменной «обонятельная_чувствительность».

Согласно работам Бурцева М.В., Поворознюка А.И. [13] необходимо использовать функцию принадлежности t , π или T класса, так как подавляющее большинство объектов находится в определенном ограниченном интервале. Формализацию термов осуществим с помощью симметричной гауссовской функции принадлежности (2), прямым методом построения.

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (2)$$

где x — переменная, $\mu(x)$ — функция принадлежности, b , c — параметры.

В прямых методах построения функций принадлежности эксперт либо группа экспертов задают для каждого $x \in X$ значение функции принадлежности $\mu(x)$. В последующем функция принадлежности может быть уточнена опытным путем на основе анализа результатов решения конкретных задач [11].

Функции принадлежности термов входных лингвистических переменных представлены на рис. 4.

Разработанная база правил нечетких продукций содержит 4 пункта, весовые коэффициенты равны 1:

1. ЕСЛИ «одоривектор 1 отлично» И «одоривектор 2 отлично» И «одоривектор 3 отлично» ТО «чувствительность обоняния высокая».

2. ЕСЛИ «одоривектор 1 хорошо» И «одоривектор 2 хорошо» И «одоривектор 3 хорошо» ТО «чувствительность обоняния средняя».

3. ЕСЛИ «одоривектор 1 слабо» И «одоривектор 2 слабо» И «одоривектор 3 слабо» ТО «чувствительность обоняния низкая».

4. ЕСЛИ «одоривектор 1 не_ощущается» И «одоривектор 2 не_ощущается» И «одоривектор 3 не_ощущается» ТО «чувствительность обоняния отсутствует».

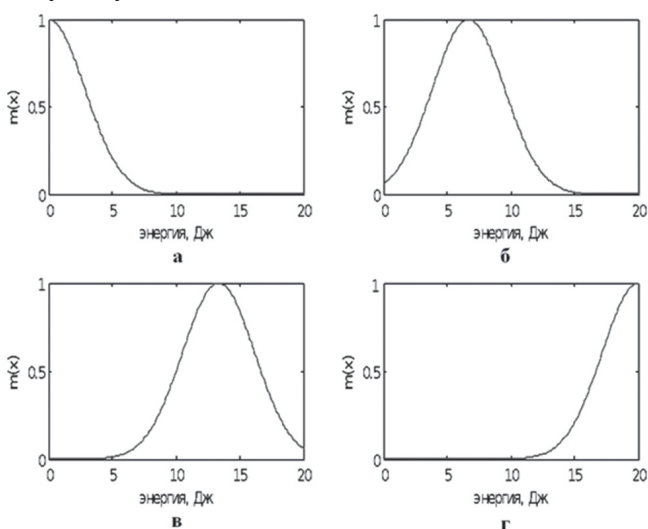


Рис. 4. Функции принадлежности термов (а – «отлично», б – «хорошо», в – «слабо», г – «не_ощущается») входных лингвистических переменных

На рис. 5 представлена программа просмотра правил нечеткого логического вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9] в интерактивной среде программирования MATLAB.

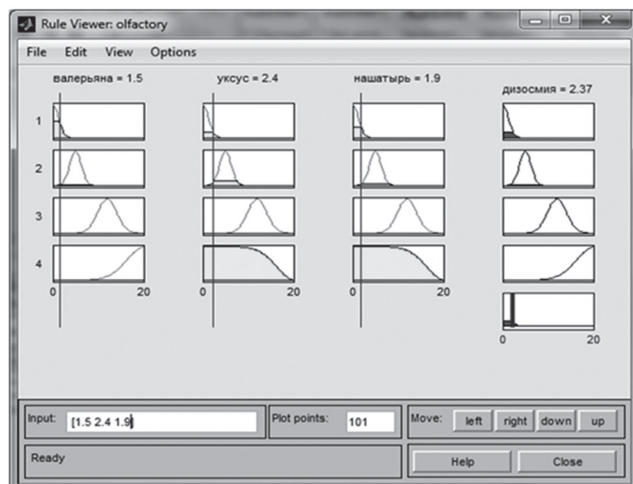


Рис. 5. Программа просмотра правил нечеткого вывода после изменения значений входных переменных на [1.5 2.4 1.9]

При заданных значениях входных лингвистических переменных значение выходной лингвистической переменной равно 2.37, что соответствует интервалу значений первого термина выходной переменной, то есть обонятельная чувствительность высокая.

4. Оценка точности классификации степени нарушения восприятия запахов.

С помощью разработанной модели нечеткого логического вывода процесса ольфактометрического исследования обонятельную чувствительность определяли у 120 больных с нарушением аэродинамики носа и у 100 лиц из контрольной группы. На основе полученных результатов предлагается следующая классификация степени нарушения восприятия запахов:

$E \leq 2$ Дж – условно нормальное обоняние;

$2 < E \leq 8$ Дж – средняя степень дизосмии;

$8 < E \leq 16$ Дж – тяжелая степень дизосмии;

$E > 16$ Дж – практически полная дизосмия.

Полученные результаты оценки степени нарушения обонятельной функции человека были подтверждены дополнительными лабораторными и клиническими исследованиями, которые проводили эксперты в оториноларингологическом отделении Харьковской областной клинической больницы. Экспериментальные результаты показали, что для выборки, состоящей из 220 пациентов, разработанная модель нечеткого логического вывода степени нарушения обонятельной функции подтвердила диагнозы для 201 пациента, следовательно, точность классификации составляет 92%.

Выводы

Применение современных интеллектуальных систем принятия решений дает возможность произвести выбор из перечня возможных заболеваний, что позволит существенно сократить время на диагностику обонятельных нарушений врачом и ускорит процесс оказания медицинской помощи пациенту.

Таким образом, процесс восприятия запаха человеком представлен в виде структуры нечеткой логики: предложено использовать три входные и одну выходную лингвистические переменные, сформулирована база правил нечетких продукций, разработана модель нечеткого логического вывода «Ольфактометрия». Предложена классификация степени нарушения восприятия запахов, установлено, что практически полная дизосмия наступает, когда энергия E превышает значение 16 Дж. Точность классификации оценки степени нарушений обонятельной функции человека была рассчитана на основе модели нечеткого логического вывода и составила 92%.

Перспективой работы является применение интервальных нечетких множеств для выявления допустимых отклонений в разработанной классификации чувствительности обоняния, что позволит повысить точность диагностики обонятельных нарушений.

Список литературы: 1. *Huart, C.* Plasticity of the Human Olfactory System: The Olfactory Bulb / C. Huart, P. Rombaix, T. Hummel // *Molecules*. — 2013. — № 18, P. 11586-11600; doi:10.3390/molecules180911586. 2. *Телішевська А. В.* Ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки / А. В. Телішевська, А. І. Поворознюк // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків: НТУ «ХПІ», 2013. — № 39(2012). — С. 177–181. 3. *Мельник К.В.* Процедура діагностування стану серцево-судинної системи пацієнта на основі нечіткої логіки / Мельник К.В., Голоскоков А.Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Тематичний випуск: Інформатика і моделювання — Харків: НТУ «ХПІ», — 2008. — № 49. — С. 101 — 104. 4. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. — М.: Мир, 1976. — 166 с. 5. *Phuong N.* Fuzzy logic and its applications in medicine / N. Phuong, V. Kreinovich. // Proc. of Asian Pacific Medical Informatics Conference APAMI-MIC'2000; Hong Kong — 27-30 September 2000. — P. 1–11. 6. *Замковой В.С.* Учет лингвистических переменных при создании систем объективной медицинской диагностики / Замковой В.С., Мустецов Т.Н. // Вісник національного технічного університету «ХПІ». — 2006, Вип.23. — С.67-74. 7. *Sharma J.* Fuzzy Logic based Odour Classification System in Electronic Nose / Jayeeta Sharma, Amlan Jyoti Bhagawati, Riku Chutia // *International Journal of Computer Applications* (0975 — 8887) Volume 78 — No.15, September 2013 pp. 18-21 DOI:10.5120/13599-1347. 8. *Абизов Р. А.* Нарушения функций обонятельного анализатора и практические аспекты методики их исследования и дальнейшей тактики ведения таких пациентов / Р. А. Абизов, Ю. Д. Павлишин. // СЕМЕЙНАЯ МЕДИЦИНА №4 (48). — 2013. — С. 100–102. 9. Пристрій для тестування респіраторних порушень нюху: пат. 110452 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. - №а201500603 ; заявл. 26.01.2015 ; опубл. 10.06.2015, Бюл.№11 — 4с. 10. 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. 11. *Штовба С.Д.* Идентификация нелинейных зависимостей

с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовба // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. — М.: Softline, 2003. — № 2. — С. 9–15. 12. *Леоненков А. В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб.: БХВ Петербург, 2005. — 736 с. 13. *Бурцев М. В.* Выбор функций принадлежности для описания симптомокомплексов в комбинированном решающем правиле / М. В. Бурцев, А. И. Поворознюк // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Информатика и моделирование. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. — № 31. — С. 10-15.

Resume

Y.V. Nosova

ON THE QUESTION OF FORMALIZING THE DIAGNOSIS OF OLFACTORY DISORDERS

Background: To date, there are many methods for testing the sense of smell, but there is no single universally accepted universal method due to a number of difficulties associated with the formalization of the subjective component of the process of diagnosing abnormalities in the olfactory analyzer. In connection with this, there is a need to develop new approaches to the diagnosis of olfactory disorders, which will increase the objectivity of diagnosis.

Materials and methods: To achieve the stated goals and objectives, studies were conducted using a device for testing respiratory odor disorders, developed at the Department of Biomedical Engineering. Methods of fuzzy logic were also used.

Results: The experimental results showed that for a sample consisting of 220 patients, the developed model of fuzzy inference with the degree of impairment of the olfactory function confirmed the diagnoses for 201 patients.

Conclusion: The process of perception of a person's smell is presented in the form of a fuzzy logic structure: it is suggested to use three input and one output linguistic variables, a base of rules for fuzzy products is formulated, and a model of fuzzy logical inference "Olfactometry" is developed. The classification of the degree of impaired odor perception is suggested, it is established that almost complete dysosmia occurs when the energy E exceeds 16 J. The accuracy of the classification of the assessment of the degree of violations of the human olfactory function was calculated on the basis of the fuzzy inference model and was 92%.

Поступила в редколлегию 16.10.2017