

УДК 004.93

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ В ДВУМЕРНЫХ ОТОБРАЖАЮЩИХ ПРОСТРАНСТВАХ

Шуткин А.Н.

*Воронежский институт государственной противопожарной службы,
Воронеж, e-mail: vigps@mail.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию метода компьютерной оценки состояния здоровья, построенного на основе нечеткой классификации в двумерном отображающем пространстве информативных признаков. Существенная роль при построении решающих правил, реализующих этот метод, отводится экспертам в исследуемой предметной области. Сущность метода состоит в том, что путем перехода в двумерное пространство из исходного многомерного пространства информативных признаков посредством интерактивного конструирования двумерных отображающих пространств, строятся правила нечеткой продукции на основе экспертной оценки распределения классов в новом пространстве информативных признаков. Используя приведенный механизм синтеза решающих правил, решали задачи диагностики вибрационной болезни, оценки профессиональных заболеваний и психофункционального напряжения.

Ключевые слова: двумерное классификационное пространство, нечеткая классификация, функции принадлежности, экспертная группа

ASSESSMENT OF THE STATE OF HEALTH OF THE PERSON ON THE BASIS OF THE METHOD OF FUZZY CLASSIFICATION IN THE TWO-DIMENSIONAL DISPLAYING SPACES

Shutkin A.N.

Voronezh institute of the public fire service, Voronezh, e-mail: vigps@mail.ru

The present article is devoted to research of a method of a computer assessment of the state of health constructed on the basis of indistinct classification in the two-dimensional displaying space of informative signs. An essential role at creation of the decisive rules realizing this method it is allocated for experts in the studied subject domain. The essence of a method consists that by transition to two-dimensional space from initial multidimensional space of informative signs by means of interactive designing of the two-dimensional displaying spaces, rules of indistinct production on the basis of an expert assessment of distribution of classes in new space of informative signs are under construction. Using the given mechanism of synthesis of decisive rules problems of diagnosis of a vibration illness, an assessment the professionalnykh of diseases and psychofunctional tension were solved.

Keywords: two-dimensional classification space, fuzzy classification, functions of accessory, expert group

Задачи оценки состояния здоровья человека относятся к классу плохоформализуемых задач, часто с нечетко устанавливаемыми границами. В работах [4, 5, 7, 8] было показано, что одним из эффективных подходов к решению таких задач являются диалоговые методы распознавания образов и нечеткая логика принятия решений, ориентированная на классификацию различных состояний биологических объектов, включая человека.

В работах [4, 3, 7, 13] описываются идеи построения нечетких классификаторов с использованием диалоговых методов распознавания образов и, в частности, с использованием метода интерактивного конструирования двумерных классификационных пространств (ИКДКП). Однако в этих работах достаточно полно раскрываются механизмы отображения многомерных данных в двумерные классификационные пространства, а механизмы нечеткой двумер-

ной классификации рассматриваются лишь на уровне общих идей.

В данной работе предлагается один из эффективных методов нечеткой классификации в двумерном отображающем пространстве, ориентированный на задачи оценки функционального состояния и состояния здоровья человека.

Предполагается, что в ходе предварительного анализа данных было получено двумерное классификационное пространство Φ с использованием метода ИКДКП [4, 3, 10, 13] с отображением в него объектов обучающей выборки альтернативных классов ω_l и ω_r .

С учетом выбранных исходных условий предлагаемый метод реализуется следующей последовательностью действий.

1. Если на предварительном этапе анализа и синтеза метода ИКДКП построено отображающее пространство, то отобранной группе экспертов предлагается оценить

пригодность пространства информативных признаков для решения поставленных задач и по шкале от трех до единицы оценить меру доверия к заданной системе признаков. По результатам работы экспертов производится оценка согласованности их действий по коэффициенту конкардации W . В случае достаточной согласованности ($W \geq 0,8$) работа экспертов по синтезу нечетных моделей в двумерном классификационном пространстве продолжается. В противном случае состав экспертной группы корректируется до получения $W \geq 0,8$ при сохранении требуемого количества экспертов. В соответствии с рекомендациями, принятыми в квалиметрии, количество экспертов для решения выбранного класса задач не должно быть меньше 7. При допуске экспертной группы к дальнейшей работе пространство информативных признаков может быть скорректировано с выбором новой оценки меры доверия к информативным признакам МДП и к обучающей выборке МДО. После этой процедуры производится повторный синтез двумерного отображающего пространства методом ИКДКП с оставлением лучшего (нового или старого) результатов.

2. Если предварительного двумерного классификационного пространства построено не было, то выбранной группе экспертов предлагается сформировать пространство информативных признаков и оценить меру доверия к нему и возврат к п. 1.

3. Наблюдая результаты отображения объектов обучающей выборки в двумерное пространство Φ , эксперты принимают решение о целесообразности работы с этим типом решающих правил. В случае принятия положительного решения по дальнейшей работе в двумерном пространстве Φ процедура синтеза продолжается, в противном случае принимается решение о выборе других типов решающих правил или об окончании процесса синтеза.

4. Эксперты под руководством инженера-когнитолога изучают свойства отображающих функций, формирующих пространство Φ :

$$\Phi = Y_1 \times Y_2, \quad (1)$$

где $Y_1 = \varphi_1(A, X)$; $Y_2 = \varphi_2(B, X)$; φ_1 и φ_2 – функции связи координат многомерного пространства признаков $X = x_1, x_2, \dots, x_n$; с координатами двумерного пространства Y_1, Y_2 ; n – размерность пространства информативных признаков; $A = a_1, a_2, \dots, a_n$; $B = b_1, b_2, \dots, b_n$ – вектора настраиваемых (в ходе обучения) параметров.

5. На экспертном уровне определяется максимальная уверенность в классификации в двумерном пространстве Φ , которая выражается через максимальные величины

функций принадлежности μ_ℓ^m и μ_r^m (в терминологии Л. Заде) или через максимальные значения принадлежности к исследуемым классам состояний U_ℓ^m и U_r^m в терминологии Е. Шортлифа (ℓ, r – идентификаторы альтернативных классов).

При максимальном доверии экспертов к обучающим выборкам

$$\mu_\ell^m = \mu_r^m = U_\ell^m = U_r^m = 1,0.$$

С учетом мер доверия МДП и МДО

$$\mu_\ell^m = \text{МДО} \cdot \text{МДП}. \quad (2)$$

Если у экспертов есть мнение о величине меры недоверия к применяемому методу классификация МНДК, то

$$\mu_\ell^m = \text{МДО} \cdot \text{МДП} - \text{МНДК}. \quad (3)$$

В общем виде $\mu_\ell^m(U_\ell^m)$ и $\mu_r^m(U_r^m)$ для различных классов ω_ℓ и ω_r могут быть различны.

6. Определяются границы областей классов ω_ℓ и ω_r с максимальным уровнем доверия к принимаемым решениям.

При этом следует иметь в виду, или в силу ограничений на объем обучающих выборок реальные границы классов в исходном и отображающем пространстве несколько шире, чем те, что наблюдают эксперты на этапе обучения. Недоучет этого факта будет приводить к снижению качества классификации при решении реальных задач.

Опыт решения практических задач нечеткой классификации в двумерных отображающих пространствах позволил сформировать ряд рекомендаций по выбору областей с $\mu_\ell^m(U_\ell^m)$ и $\mu_r^m(U_r^m)$.

6.1. Зону области пересечения классов ω_ℓ и ω_r рекомендуется увеличить (пунктир на рис. 1) исходя из собственного опыта экспертов и(или) на величины $\Delta d_{\Pi\ell}$ и $\Delta d_{\Pi r}$ пропорциональные средним расстояниям отображений объектов обучающих выборок класса $\omega_\ell - d_{c\ell}^0$ и $\omega_r - d_{cr}^0$ ($\Delta d_{\Pi\ell} = K_\ell d_{c\ell}^0$; $\Delta d_{\Pi r} = K_r d_{cr}^0$).

Коэффициенты пропорциональности K_ℓ и K_r рекомендуется выбирать в диапазоне 1, ..., 4 с учетом предпочтений в преобладании ошибок первого и (или) второго рода. Расширенная зона пересечения классов (РЗПК) в Φ исключается из областей максимального доверия к классификации. Удобно при этом расширенные границы зоны пересечения рассматривать как продолжение границ классов ω_ℓ и ω_r вне зоны их пересечения.

6.2. Контур g_ℓ^m и g_r^m областей максимального доверия проводятся экспертами, исходя из специфики решаемой задачи, относительно наблюдаемых границ обучающих выборок и «расширенных» границ

областей пересечения. При этом уверенность на границе, обозначенной в предыдущем пункте, определяется как константа $a_\ell(a_r)$ ($0 < a_\ell < \mu_\ell^m$) (например $a_\ell = 0,5$), и относительно нее строится система линий с равной степенью уверенности в $\omega_\ell(\omega_r)$, которая растет по мере приближения к отображению «центра» класса $\omega_\ell(\omega_r)$ (рис. 2, а для класса ω_r). Можно также использовать механизмы обозначения различных плотностей отображений объектов («густота» точки обучающей выборки, числа, оценивающие плотность, цвет) (рис. 2, б) и область, имеющую наибольшую равномерную плотность, определить как ОМД.

6.3. В многомерном пространстве признаков выделяются группы объектов, не пересекающихся с альтернативными классами, но попадающими в зону пересечения в отображаемом пространстве. Если такие группы

обнаруживаются, то осуществляется их перевод в Φ в область надежной классификации.

Для решения этой задачи в отображаемом пространстве выделяются объекты, сформировавшие зону пересечения классов РЗПК (заштрихованная область на рис. 1). По координатам точек РЗПК восстанавливаются их многомерные координаты с образованием двух подмассивов по классам ω_ℓ и ω_r соответственно. Из объектов обучающих подмассивов класса ω_ℓ определяется наиболее удаленный от объектов класса ω_r . Если это расстояние $d_{kl} > K_\ell d_{cr}$ (d_{cr} – среднее расстояние между объектами классов ω_ℓ в многомерном пространстве признаков; K_ℓ – коэффициент пропорциональности аналогичный П. 6.2), то принимается гипотеза о существовании группы объектов многомерного пространства с надежной классификацией в РЗПК.

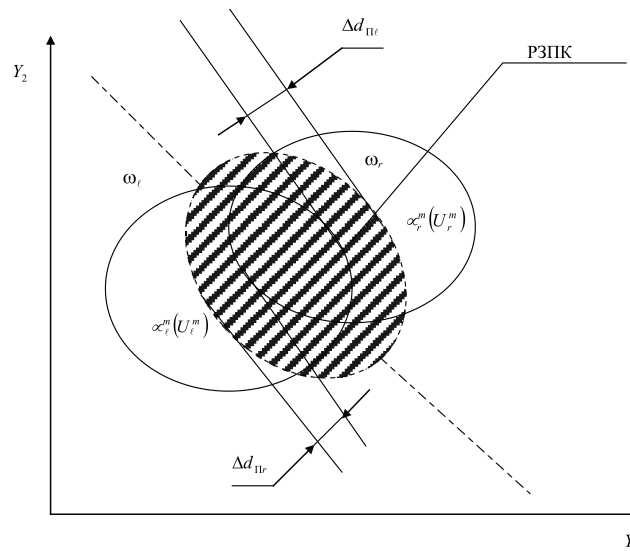


Рис. 1. Формирование расширенной «зоны наложения классов в Φ »

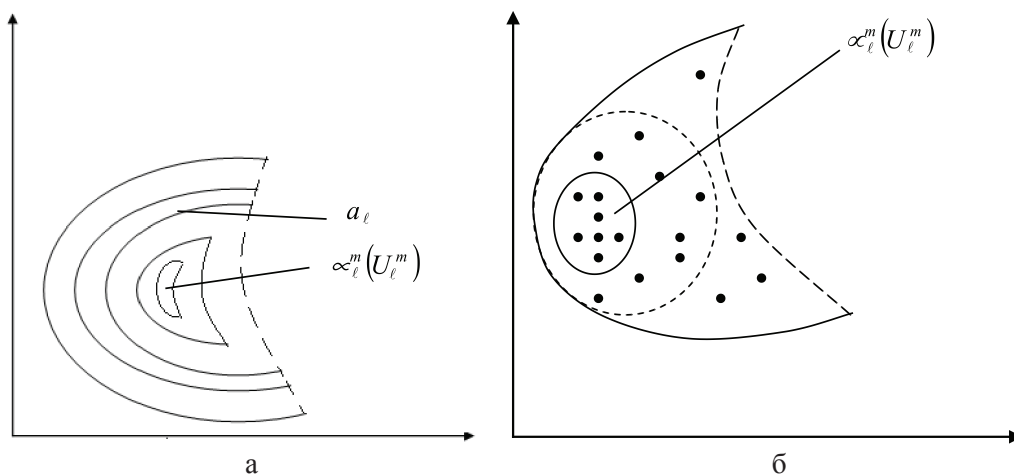


Рис. 2. Варианты выбора областей максимального доверия:
а – по линиям равной уверенности; б – по плотности объектов отображения

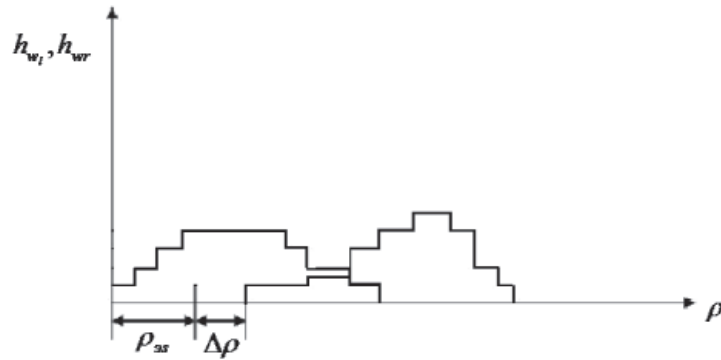


Рис. 3. Гистограммы классов ω_l и ω_r для объектов, формирующих РЗПК

Рассмотрим подробнее вариант выделения группы объектов из ω_ℓ , не пересекающихся с объектами класса ω_r с переводом его в зону надежной классификации.

6.3.1. Определяются координаты $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ центра линии, соединяющей наиболее удаленные многомерные объекты классов ω_ℓ и ω_r из обучающих подмассивов. Относительно этой точки создается шкала типа

$$\rho = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i - x_i)^2}. \quad (4)$$

6.3.2. Шкала ρ используется для построения дистальных гистограмм распределения классов ω_ℓ и ω_r для объектов сформировавшихся РЗПК (рис. 3).

6.3.3. На шкале ρ отмечается радиус эталонной гиперсферы ρ_{zs} такой, чтобы она гарантированно не «захватывала» объекты чужого класса (радиус гиперсферы ρ находился от края альтернативной гистограммы не ближе, чем величина $\Delta\rho = K_e d_{cp}$).

Объект многомерного пространства попадает в эталонную гиперсферу при выполнении условия

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (c_{is} - x_i)^2} \leq \rho_{zs}, \quad (5)$$

где s – номер эталонной гиперсферы.

6.3.4. Все объекты класса ω_ℓ , формирующие РЗПК и удовлетворяющие условию (5), из обучающих подмассивов исключаются, а процесс выделения искомым групп класса ω_ℓ продолжается, пока выполняется условие $d_{kt} > K_e d_{cp}$. В случае, когда условие не выполняется, считается, что объекты подмассивов классов ω_ℓ и ω_r пересекаются в исходном пространстве признаков.

6.3.5. После нахождения всех эталонных гиперсфер типа (5) для каждой из них определяются многомерные объекты класса ω_ℓ наиболее близкие к координатам

$C_s = (c_{1s}, \dots, c_{is}, \dots, c_{ns})$. Для каждого эталона фиксируются координаты найденных многомерных объектов Y_{1s} и Y_{2s} .

6.3.6. Процедура классификации заключается в том, что если неизвестные объекты принадлежат к эталону с номером s , то они отображаются в точки с координатами $Y_1 = Y_{1s}$ и $Y_2 = Y_{2s}$.

Для формирования эталонов типа (5) могут быть использованы гиперпараллелепипеды, механизм получения которых был описан в работах [7, 8].

6.4. Осуществляется формирование двумерных областей, для которых $\mu_\ell < \mu_\ell^m$; $\mu_r < \mu_r^m$; $U_r < U_r^m$ и $U_\ell < U_\ell^m$.

Частично этот механизм описан в пункте 6.2. Для РЗПК после исключения из нее надежно классифицируемых структур ориентиром является формирование площадей с «примерно одинаковым» отношением $\frac{n_{\ell q}}{n_{r q}}$

(для класса ω_ℓ) и $\frac{n_{rp}}{n_{lp}}$ (для класса ω_r), где $n_{\ell q}$, $n_{r q}$,

n_{rp} и n_{lp} количество объектов классов ω_ℓ и ω_r на элементах площадей с номерами q и p .

Используя механизм синтеза классификационного пространства, описанный в данной работе, решались задачи ранней и дифференциальной диагностики вибрационной болезни, профессиональных заболеваний работников пылевых профессий, и оценки таких функциональных состояний человека, как оперативный покой, активация психоэмоциональное напряжение и утомление [1, 2, 10, 11]. Исходной информацией для классификации и оценки уровня исследуемых функциональных состояний являлись показатели, характеризующие зрительное внимание человека, регистрируемые аппаратурой, описание которой приведено в работе [12]. Во всех решаемых задачах обеспечивалась диагностическая эффективность не менее 0,9.

Список литературы

1. Бойцов А.В., Филатова О.И., Корневская С.Н. Классификация функциональных состояний человека с использованием правил нечеткого принятия решений // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символической информации. Распознавание. – 2012; сб. материалов X Международ. науч. техн. конф. – Курск : ЮЗГУ, 2012. – С. 311–313.
2. Геометрический подход к синтезу нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и медицинской диагностики / Корневский, Н.А., Филист С.А., Устинов А.Г., Рябкова Е.Б. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2012. – № 4. – С. 20–25.
3. Интерактивный метод классификации в задачах медицинской диагностики / Н.А. Корневский, С.В. Дегтярев, С.П. Серегин, А.В. Новиков // Медицинская техника. – 2013. – № 4. – С. 1–3.
4. Использование интерактивных методов классификации для решения задач медицинского прогнозирования / С. Абас Башир, В.Н. Шевякин, К.В. Разумова, С.Н. Корневская // Фундаментальные исследования. – 2014. – С. 33–37.
5. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2015. – № 1. – с. 33–35.
6. Корневский Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2013. – № 2. – С. 99–103.
7. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касабех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 528 с.
8. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Горбатенко С.А. Синтез нечетких сетевых моделей обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. – 2008. – № 2. – С. 18–24.
9. Титов В.С., Сапитонова Т.Н. Классификация функционального состояния человека и нечеткая оценка их уровня // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 2. – Ч. 3. – С. 320–324.
10. Филатова, О.И. Метод, модели и алгоритм анализа и управления функциональным состоянием человека на основе нечетких гетерогенных правил принятия решений: дисс. канд. техн. наук: 05.11.17, защищена 11.11.11. – Курск, 2011.
11. Fuzzy determination of the human's level of psychoemotional / N.A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, F. Ionescous, M. Alshamashin, E. Alkasasbeh, A.P. Smit // IFMBE Proceedings. – 2013. – Vol. 40. – IFMBE. – P. 213–216.
12. System for Studying Specific Features of Attention and Memory / N.A. Korenevskiy, D.E. Skopin, R.T. Al Kasasbeh, A.A. Kuz'min // Biomedical Engineering Journal, Springer. – New York, 2010. – Vol. 44, № 1. – P. 32–35.
13. Use of an Ineractive Method for Classification inProblems of Medical Diagnosis/ N.A. Korenevskiy, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering November 2013. – Vol. 47, Issue 4. – P. 169–172.

References

1. Abas Bashir S. *Ispolzovanie interaktivnykh metodov klassifikatsii dlya resheniya zadach meditsinskogo prognozirovaniya* [The Use of interactive classification methods for solving problems of healthcare forecasting] / S. Abas Bashir, V.N. Shevyakin, K.V. Razumova, S.N. Korenevskaya // Fundamentalnye issledovaniya 2014. no. pp. 33–37.
2. Boytsov A.V. *Klassifikatsiya funktsionalnykh sostoyaniy cheloveka s ispolzovaniem pravil nechetkogo prinyatiya resheniy* [Classification of functional States using the rules of fuzzy decision making] / A.V. Boytsov, O.I. Filatova, S.N. Korenevskaya // Optiko-elektronnye pribory i ustroystva v sistemakh raspoznaniya obrazov, obrabotki izobrazheniy i simvolnoy informatsii. Raspoznaniye [Opto-electronic devices and devices in systems of pattern recognition, image processing, and char-

acter information. Recognition] 2012; sb. materialov Kh Mezhdunar. nauch. tekhn. konf. Kursk : YuZGU, 2012. pp. 311–313.

3. Korenevskiy N.A. *Geometricheskii pokhod k sintezu nechetkikh reshayushchikh pravil dlya resheniya zadach prognozirovaniya i meditsinskoy diagnostiki* [A geometric approach to the synthesis of fuzzy decision rules for solving problems of prediction and medical diagnosis] / N.A. Korenevskiy, S.A. Filist, A.G. Ustinov, Ye.B. Ryabkova // Biomeditsinskaya radioelektronika [Biomedical electronics]. 2012. no. 4. pp. 20–25.
4. Korenevskiy N.A. *Interaktivnyy metod klassifikatsii v zadachakh meditsinskoy diagnostiki* [Interactive method of classification for purposes of medical diagnosis] / N.A. Korenevskiy, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Meditsinskaya tekhnika [Medical equipment]. 2013. no. 4. pp. 1–3.
5. Korenevskiy N.A. *Ispolzovanie nechetkoy logiki prinyatiya resheniy dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem* [The use of fuzzy logic decision making for medical expert systems] // Meditsinskaya tekhnika [Medical equipment]. 2015. no. 1. pp. 33–35.
6. Korenevskiy N.A. *Metod sinteza geterogennykh nechetkikh pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem* [Method for the synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and state management of biotechnical systems] / N.A. Korenevskiy // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie [proceedings of the southwestern state University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical devices.]. 2013. no. 2. pp. 99–103.
7. Korenevskiy N.A. *Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v meditsine, psikhologii i ekologii na osnove nechetkikh setevykh modeley* [Theoretical foundations of Biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology-based fuzzy network models] / N.A. Korenevskiy, R.A. Krupchatnikov, R.T. Al-Kasabekh // Staryy Oskol: TNT, 2013. 528 p.
8. Korenevskiy N.A. *Sintez nechetkikh setevykh modeley obuchaemykh po strukture dannykh dlya meditsinskikh ekspertnykh sistem* [Synthesis of fuzzy network models of the learners in the data structure for medical expert systems] / N.A. Korenevskiy, R.A. Krupchatnikov, S.A. Gorbatenko // Meditsinskaya tekhnika. 2008. no. 2. pp. 18–24.
9. Titov V.S. *Klassifikatsiya funktsionalnogo sostoyaniya cheloveka i nechetkaya otsenka ikh urovnya* [Classification of human functional state and the fuzzy assessment of their level] / V.S. Titov, T.N. Sapitonova // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta [proceedings of the southwestern state University]. 2012. no. 2. Ch. Z. pp. 320–324.
10. Filatova O.I. *Metod, modeli i algoritm analiza i upravleniya funktsionalnym sostoyaniem cheloveka na osnove nechetkikh geterogennykh pravil prinyatiya resheniy* [Method, model and algorithm of analysis and management of functional state of the person based on fuzzy heterogeneous decision rules] // diss. kand. tekhn. nauk: 05.11.17, zashchishchena 11.11.11, Kursk, 2011.
11. Fuzzy determination of the humans level of psychoemotional / N.A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, F. Ionescous, M. Alshamashin, E. Alkasasbeh, A.P. Smit // IFMBE Proceedings. 2013. Vol. 40. IFMBE. pp. 213–216.
12. System for Studying Specific Features of Attention and Memory / N.A. Korenevskiy, D.E. Skopin, R.T. Al Kasasbeh, A.A. Kuzmin // Biomedical Engineering Journal, Springer, New York, Vol. 44, no. 1, 2010, pp. 32–35.
13. Use of an Ineractive Method for Classification inProblems of Medical Diagnosis / N.A. Korenevskiy, S.V. Degtyarev, S.P. Seregin, A.V. Novikov // Biomedical Engineering November 2013, Vol. 47, Issue 4, pp. 169–172.

Рецензенты:

Бурмака А.А., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник НИЦ, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ, г. Курск;

Серегин С.П., д.м.н., доцент, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск.