

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-160-180>



УДК 57.087

Метод и алгоритм управления процессами принятия решений по оценке риска возникновения локальной вибрационной болезни кистей рук и сопутствующих невротических расстройств

О. А. Кныш¹, К. В. Разумова¹✉, С. Н. Родионова¹,
С. А. Филист¹, В. Н. Мишустин²

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

² Курский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск 305041, Российская Федерация

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Резюме

Цель исследования – является повышение качества оценки степени риска вибрационной болезни у людей, контактирующих с ручным виброинструментом, и сопутствующих невротических расстройств путем использования гибридных моделей, объединяющих традиционные для профпатологии признаки с показателями уровня адаптации органов мишеней на основе нечетких интеллектуальных технологий.

Методы. Исследуемый класс задач относится к плохо формализуемым задачам, с нечетким описанием структуры данных. В связи с этим в качестве базового математического аппарата выбрана нечеткая логика принятия решений, и в частности, методология синтеза гибридных нечетких решающих правил. На основании этой методологии были получены гибридные модели оценки риска появления и развития виброболезни и сопутствующих невротических расстройств, в которых наряду с традиционными для современной медицины признаками входят показатели, характеризующие адаптационный потенциал организма в целом и адаптационный потенциал органов мишеней в частности.

Результаты. Для практического решения задач по оценке риска возникновения локальной вибрационной болезни кистей рук и сопутствующих невротических расстройств для соответствующей системы поддержки принятия решений был разработан алгоритм управления принятием решений, обеспечивающий повышение качества оказания медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

С учетом значительной доли методов экспертного оценивания в синтезе моделей принятия решений и общих рекомендаций выбранной методологии было реализовано три способа проверки качества работы полученного решающего правила: экспертное оценивание; экспертное моделирование контрольной выборки и статистические испытания на репрезентативных контрольных выборках.

Заключение В ходе экспертного оценивания и экспертного моделирования контрольных выборок было установлено, что предложенный метод позволяет на 10–20% увеличить качество принимаемых решений по сравнению с моделями, не использующими показатели характеризующие адаптационный потенциал организма и уровень адаптации органов мишеней. Такие же результаты были получены в ходе статистических испытаний, проводимых по общепринятым в теории распознавания правилам.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; невротические расстройства; адаптационный потенциал; органы мишени; нечеткая модель; алгоритм управления.

© Кныш О. А., Разумова К. В., Родионова С. Н., Филист С. А., Мишустин В. Н., 2025

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025;15(3):160–180

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Для цитирования: Метод управления бригадами машин службы скорой медицинской помощи на основе использования геоинформационных систем / О. А. Кныш, К. В. Разумова, С. Н. Родионова, С. А. Филист, В. Н. Мишустин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 3. С. 160–180. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-160-180>

Поступила в редакцию 11.07.2025

Подписана в печать 10.08.2025

Опубликована 30.09.2025

A method and algorithm for managing decision-making processes for assessing the risk of local vibration disease of the hand and associated neurotic disorders

Olga A. Knysh¹, Ksenia V. Razumova¹ ✉, Sofia N. Rodionova¹,
Sergey A. Filist¹, Vladimir N. Mishustin²

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

² Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
3 K. Marx Str., Kursk 305041, Russian Federation

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to improve the quality of risk assessment for vibration-induced stress syndrome (VIS) and associated neurotic disorders in individuals exposed to hand-held vibrating tools by using hybrid models that combine traditional occupational pathology criteria with indicators of the adaptation level of target organs based on fuzzy intelligent technologies.

Methods. Given that the class of problems under study is poorly formalized and has an ambiguous description of the data structure, fuzzy decision logic was chosen as the basic mathematical framework, specifically a methodology for synthesizing hybrid fuzzy decision rules. This methodology was used to develop hybrid models for assessing the risk of VIS and associated neurotic disorders. These models, along with traditional modern medical criteria, include indicators characterizing the adaptive potential of the body as a whole and the adaptive potential of target organs.

Results. To address the practical challenges of assessing the risk of localized hand vibration disease and associated neurotic disorders, a decision management algorithm was developed for the corresponding decision support system, improving the quality of medical care for the studied patient population.

Given the significant use of expert evaluation methods in the synthesis of decision-making models and the general recommendations of the selected methodology, three methods were implemented to validate the performance of the resulting decision rule: expert evaluation, expert modeling of a control sample, and statistical testing on representative control samples.

Conclusion. Expert evaluation and expert modeling of control samples revealed that the proposed method enables a 10–20% improvement in the quality of decisions compared to models that do not use indicators characterizing the body's adaptive potential and the level of adaptation of target organs. The same results were obtained during statistical tests conducted according to the rules generally accepted in recognition theory.

Keywords: vibration syndrome; neurotic disorders; adaptive potential; target organs; fuzzy model; control algorithm.

Conflict of interest: The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Knysh O.A., Razumova K.V., Rodionova S.N., Filist S.A. Mishustin V.N. A method and algorithm for managing decision-making processes for assessing the risk of local vibration disease of the hand and associated neurotic disorders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2025;15(3):160–180. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-160-180>

Received 11.07.2025

Accepted 10.08.2025

Published 30.09.2025

Введение

Среди профессиональных заболеваний достаточно широкое распространение получила вибрационная болезнь кистей рук, связанная с удержанием виброинструментов в рабочих руках [1]. В основе вибрационной болезни лежит сложный и недостаточно хорошо изученный механизм нервно-рефлекторных и нейрогуморальных нарушений, приводящих к развитию застойного возбуждения с последующими стойкими изменениями в рецепторном аппарате и центральной нервной системы (ЦНС) [2].

Недостаточная изученность патогенеза вибрационной болезни снижает потенциальные возможности современной медицины в своевременной оценке рисков появления и развития вибрационной болезни с последующим формированием адекватных мер её профилактики. Анализ литературы и собственные исследования показали, что контакт с виброинструментом провоцирует появление и развитие ряда заболеваний нервной системы [3]. Кроме того, развитию невротических расстройств способствуют также и условия труда, связанные со значительным нервно-эмоциональным напряжением, специфическими позами, статико-динамическими напряжениями и др. [4].

Анализ существующих методов и средств диагностики вибрационной болезни и невротических расстройств позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время не существует единого общепринятого стандарта по оценке рисков и подходов к диагностике вибрационной болезни и сопутствующих нервных расстройств, которые на практике в значительной степени опираются на результаты врачебного обследования и мнение врача, а не на точные количественные методы анализа [1].

С учетом сказанного разработка методов и средств, повышающих качество оценки степени риска вибрационной болезни и сопутствующих невротических расстройств, является актуальной задачей.

Материалы и методы

Анализ структуры данных, характерных для задач оценки риска исследуемых классов заболеваний, показал, что используемые факторы риска имеют нечеткую природу, а исследуемые классы заболеваний имеют области пересечений с плохо формализуемым аналитическим описанием [2]. С учетом этой особенности структуры данных для повышения качества оценки степени риска вибрационной болезни и сопутствующих

невротических расстройств было принято решение использовать технологию искусственного интеллекта вообще и гибридные нечеткие технологии в частности [5], а в качестве базового математического аппарата – использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [6], базовыми элементами которой являются функции принадлежности к исследуемым классам состояний [7]. В работе [8] была показана перспективность использования этой технологии в профпатологии. В работе [9] предложен подход применения МСГРП к решению задач количественной оценки уровня эргономики технических систем, нашедший свое продолжение в работе [10]. В работе [11] показано успешное применение этой методологии при решении задач прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса. В работе [12] успешно решена задача прогнозирования профессиональных заболеваний в электроэнергетической отрасли. А в работе [13] решены задачи прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики мультицентричного ишемического поражения и т. д.

Используя метод синтеза моделей оценки степени риска вибрационной болезни, описанный в работе [2], и прогнозирования появления и развития нервных болезней, описанных в работе [3], были получены гибридные модели оценки степени риска вибрационной болезни и сопутствующих невротических расстройств.

Характерной особенностью решаемых в работе задач является взаимовлияние исследуемых классов заболеваний друг на друга. С учетом этого в решающее правило оценки риска возникновения и развития виброболезни включается функция принадлежности с базовой переменной, характеризующей риск появления и развития неврозов, и наоборот, в решающее правило оценки риска возникновения и развития неврозов включается функция принадлежности с базовой переменной, характеризующей риск появления и развития виброболезни.

Уверенность в появлении и развитии вибрационной болезни UVW описывается выражением вида

$$UVW(q+1) = UVW(q) + Q_{q+1} [1 - UVW(q)], \quad (1)$$

где $q = 1, \dots, 4$; $UVW(1) = Q_1 = UV_{оав}$; $Q_2 = UV_{Кав}$; $Q_3 = UV_{ТВ}$; $Q_4 = UV_{Бв}$; $Q_5 = UV_{Дв}$; $UV_{оав}$ – уверенность в появлении и развитии виброболезни по показателю уровня адаптационного потенциала организма UAO ; $UV_{Кав}$ – уверенность в появлении и развитии виброболезни по показателю уровня адаптации периферического кровоснабжения кисти рабочей руки UAK ; $UV_{ТВ}$ – уверенность в появлении и развитии виброболезни по набору признаков, используемых в традиционной медицинской практике; $UV_{Бв}$ – уверенность в появлении и развитии виброболезни по энергетическому разбалансу соответствующих БАТ; $UV_{Дв}$ – уверенность в появлении и

развитии виброболезни по группам дополнительных факторов риска, включающих эргономику, экологию и индивидуальное состояние организма.

Составляющая $UV_{\text{оав}}$ определяется функцией принадлежности к классу «высокий риск вибрационной болезни (класс $\omega_{\text{ПВ}}$) $\mu_v(UAO)$ »:

$$UV_{\text{оав}} = \mu_v(UAO). \quad (2)$$

Базовая переменная UAO определяется выражением [14]:

$$UAO(j+1) = UAO(j) + f_{\text{аф}}(Q_q)[1 - UAO(j)], \quad (3)$$

$$\mu_v(UAO) = \begin{cases} 0,3 & \text{если } UAO < 0,3, \\ 0,5 - 4(UAO - 0,3)^2, & \text{если } 0,3 \leq UAO < 0,5, \\ 3,75(UAO - 0,7)^2, & \text{если } 0,5 \leq UAO < 0,7, \\ 0, & \text{если } UAO \geq 0,7. \end{cases} \quad (4)$$

Составляющая $UV_{\text{Кав}}$ определяется функцией принадлежности к классу «высокий риск вибрационной болезни $\mu_v(UAK)$ », где базовая переменная UAK определяется выражением:

$$UV_{\text{Кав}} = \mu_v(UAK) = \begin{cases} 0,5 & \text{если } UAK < 0,3, \\ 0,5 - 4(UAK - 0,3)^2, & \text{если } 0,3 \leq UAK < 0,55, \\ 4(UAK - 0,8)^2, & \text{если } 0,55 \leq UAK < 0,8, \\ 0, & \text{если } UAK \geq 0,8. \end{cases} \quad (6)$$

Базовые переменные нормирующих функций уровня адаптации определяются следующим образом. Показатель $FS_{\text{ВК}}$, характеризующий функциональное состояние системы кровоснабжения верхних конечностей, определяется по формуле

$$FS_{\text{ВК}} = \frac{S_{\text{И}}}{S_{\text{Н}}}, \quad (7)$$

где $j = 1, 2$; $q = 1, 2, 3$; $UAO(1) = f_{\text{аф}}(Q_1) = f_{\text{аф}}(\text{ИФИ})$; $f_{\text{аф}}(Q_2) = f_{\text{аф}}(\text{АПЭР})$; $f_{\text{аф}}(Q_3) = f_{\text{аф}}(\text{АПАС})$; $f_{\text{ао}}(\text{ИФИ})$, $f_{\text{ао}}(\text{АПЭР})$, $f_{\text{аф}}(\text{АПАС})$ – нормирующие функции уровня адаптации по показателям индекса функциональных изменений (ИФИ), разбаланса биологически активных точек, относящихся к группе общесистемных (АПЭР), характеризующих функционирование антиоксидантной системы защиты (АПАС).

$$UAK = AGK[f_{\text{авк}}(FS_{\text{ВК}}), f_{\text{авк}}(FR_{\text{ВК}}), f_{\text{авк}}(T_{\text{В}})], \quad (5)$$

где AGK – агрегатор нормирующих функций уровня адаптации; $f_{\text{авк}}(FS_{\text{ВК}})$, $f_{\text{авк}}(FR_{\text{ВК}})$, $f_{\text{авк}}(T_{\text{В}})$ – нормирующие функции уровня адаптации.

где $S_{\text{И}}$ – средняя площадь под фотоплетизмограммой (ФПГ), регистрируемой на рабочей руке за заданный промежуток времени; $S_{\text{Н}}$ – номинальная площадь ФПГ, определяемая на здоровой руке.

Показатель $FR_{\text{ВК}}$, характеризующий функциональный резерв (ФР) локальной системы кровоснабжения верхних конечностей, определяется по формуле

$$FR_{BK} = \frac{S_1 - S_2}{S_H} = FS_{BK1} - FS_{BK2}, \quad (8)$$

где S_1 – средняя площадь волн ФПГ, определенная до холодовой пробы; S_2 – средняя площадь волн ФПГ определенная после холодовой пробы; FS_{BK1} – функциональное состояние локальной системы кровоснабжения верхних конечностей, определяемое до холодовой пробы; FS_{BK2} – функциональное состояние локальной системы кровоснабжения верхних конечностей, определяемое после холодовой пробы.

Общие вопросы синтеза нечетких моделей оценки функциональных состояний описаны в работе [15], а функционального резерва – в работе [16].

Время восстановления кровоснабжения после холодовой пробы T_B определяется как время вхождения модуля разности $|S_1 - S_2|$ в заданную экспертами «трубку» ΔS .

Для оценки составляющей UV_{TB} используется интегральный показатель Y_1 , описанный в работе [2]:

$$UV_{TB} = \mu_B^{\Pi}(Y_1) = \begin{cases} 0, \text{ если } Y_1 < 0,2, \\ 11,1(Y_1 - 0,2)^2, \text{ если } 0,2 \leq Y_1 < 0,35, \\ 0,5 - 11,1(Y_1 - 0,5)^2, \text{ если } 0,35 \leq Y_1 < 0,5, \\ 0,5, \text{ если } 0,5 \leq Y_1 < 0,7, \\ 0,5 - 6,25(Y_1 - 0,7)^2, \text{ если } 0,7 \leq Y_1 < 0,9, \\ 6,25(Y_1 - 1,1)^2, \text{ если } 0,9 \leq Y_1 < 1,1, \\ 0, \text{ если } Y_1 \geq 1,1. \end{cases} \quad (9)$$

Энергетический разбаланс для базовой переменной показателя UV_{BB} определяется выражением

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ } [(\delta R_{TR3} \geq 15\%) \text{ И } (\delta R_{TR14} \geq 15\%)] \\ & \text{ТО } [ER_{BB} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 f_R(\delta R_j)] \text{ ИНАЧЕ } (ER_{BB} = 0), \end{aligned} \quad (10)$$

где $f_R(\delta R_j)$ – нормирующие функции энергетического разбаланса для точки j , «связанной» с вибрационной болезнью с областью значения $[0, \dots, 1]$; $\delta R_1 = \delta R_{TR3}$; $\delta R_2 = \delta R_{TR14}$; $\delta R_3 = \delta R_{TR5}$.

Вопросы синтеза нечетких решающих правил по энергетическому разбалансу БАТ описаны в работе [17].

В качестве дополнительных факторов риска эксперты предложили использовать показатель уверенности в появлении невротических расстройств UVN , для которого показатель UV_{DV} определяется следующим образом:

$$UV_{DV} = \mu_B(UVN) = \begin{cases} 0, \text{ если } UVN < 0,2, \\ 0,22(UVN - 0,2)^2, \text{ если } 0,2 \leq UVN < 0,5, \\ 0,4 - 0,22(UVN - 0,8)^2, \text{ если } 0,5 \leq UVN < 0,8, \\ 0,4, \text{ если } UVN \geq 0,8. \end{cases} \quad (11)$$

Уверенность в появлении и развитии нервных болезней UVN описывается выражением вида

$$UVN(q+1) = UVN(q) + R_{q+1} [1 - UVN(q)], \quad (12)$$

где $q = 1, \dots, 4$; $UVN(1) = R_1 = UV_{\text{оан}}$; $R_2 = UV_{\text{кан}}$; $R_3 = UV_{\text{тн}}$; $R_4 = UV_{\text{бн}}$; $R_5 = UV_{\text{дн}}$; $UV_{\text{оан}}$, $UV_{\text{нан}}$, $UV_{\text{тн}}$, $UV_{\text{бн}}$, $UV_{\text{дн}}$ – уверенности в появлении и развитии невротических расстройств по

показателям UAO , адаптационного потенциала нервной системы (UAN), по традиционным факторам риска, по энергетическому разбалансу соответствующих БАТ, по группам дополнительных факторов риска, включающих эргономику, экологию и индивидуальное состояние организма. Для выражения (12) получен следующий набор частных решающих правил:

$$UV_{\text{оан}} = \mu_n(UAO) = \begin{cases} 0,3 & \text{если } UAO < 0,3, \\ 0,5 - 4(UAO - 0,3)^2, & \text{если } 0,3 \leq UAO < 0,5, \\ 3,75(UAO - 0,7)^2, & \text{если } 0,5 \leq UAO < 0,7, \\ 0, & \text{если } UAO \geq 0,7. \end{cases} \quad (13)$$

$$UV_{\text{кан}} = \mu_n(UAN) = \begin{cases} 0,4 & \text{если } UAN < 0,3, \\ 0,4 - 5(UAN - 0,3)^2, & \text{если } 0,3 \leq UAN < 0,5, \\ 5(UAN - 0,7)^2, & \text{если } 0,5 \leq UAN < 0,7, \\ 0, & \text{если } UAN \geq 0,7. \end{cases} \quad (14)$$

Показатель $UV_{\text{тн}}$ заимствован из работы [3]. Частное решающее правило определения уверенности в появлении и развитии нервных болезней $UV_{\text{бн}}$ по группе БАТ, связанных с нервной

системой, определяется функцией принадлежности $\mu_n(ER_{\text{нр}})$:

$$UV_{\text{бн}} = \mu_n(ER_{\text{нр}}). \quad (15)$$

Показатель $UV_{\text{дн}}$ представлен моделью расчета UVW :

$$UV_{\text{дн}} = \mu_n(UVW) = \begin{cases} 0, & \text{если } UVW < 0,2, \\ 2,78(UVW - 0,2)^2, & \text{если } 0,2 \leq UVW < 0,5, \\ 0,5 - 2,78(UVW - 0,8)^2, & \text{если } 0,5 \leq UVW < 0,8, \\ 0,5, & \text{если } UVW \geq 0,8. \end{cases} \quad (16)$$

Результаты и их обсуждение

Анализ известных систем поддержки принятия решений (СППР) и их баз знаний показал, что для практического решения задач по оценке риска возникновения локальной вибрационной болезни кистей рук и сопутствующих невротических расстройств можно использовать универсальную программную оболочку разработки кафедры БМИ ЮЗГУ [18].

Однако алгоритм управления принятием решений и решающие модули базы знаний должны соответствовать типам решаемых в работе задач, что требует разработки оригинального алгоритма управления и соответствующей структуры базы знаний СППР.

С учетом особенностей решаемых в работе задач разработан обобщенный алгоритм принятия решений, приведенный ниже (рис. 1).

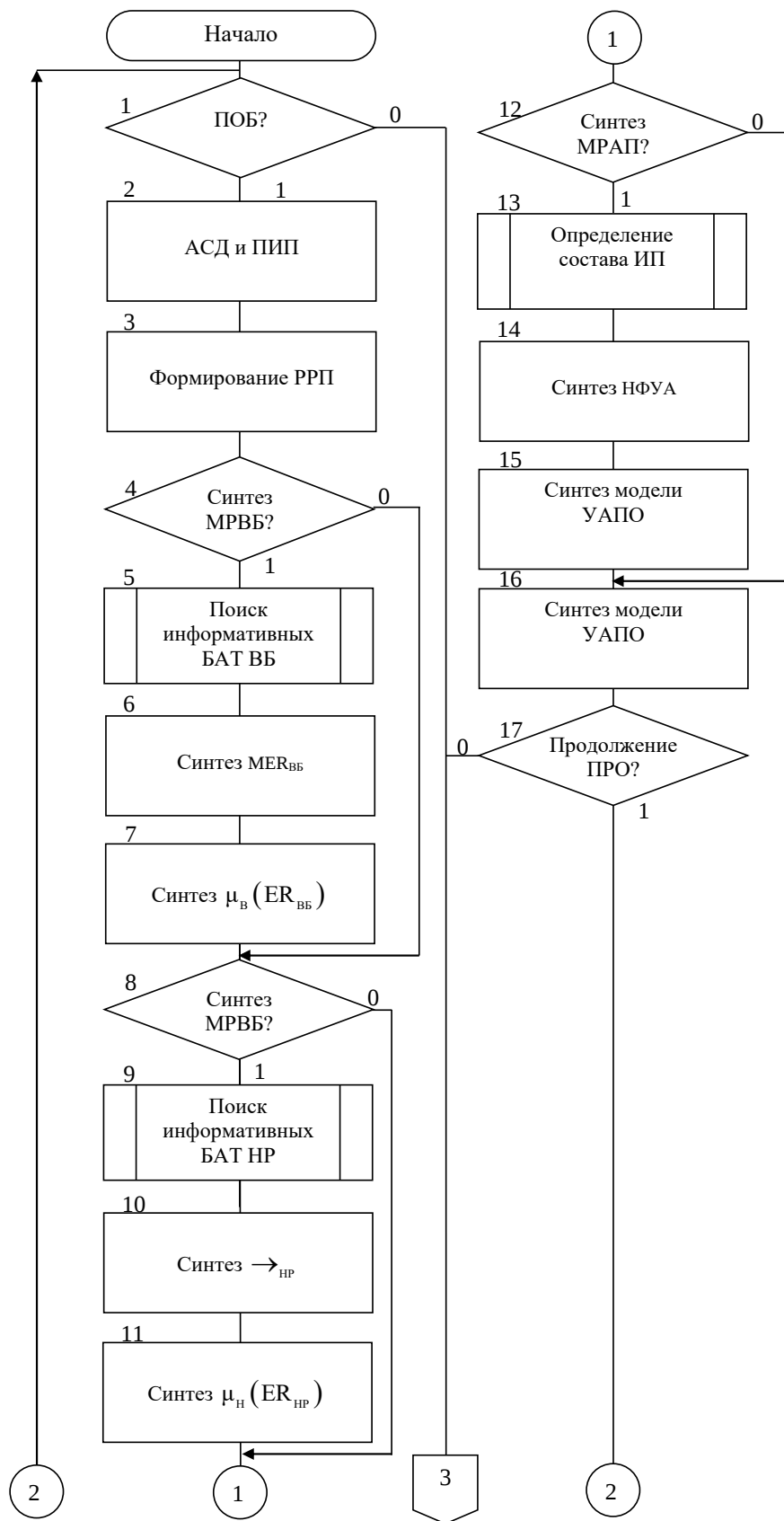


Рис. 1. Схема алгоритма управления (продолжение и окончание на с. 168–170)

Fig. 1. Scheme of the control algorithm (continued and ended on pages 168–170)

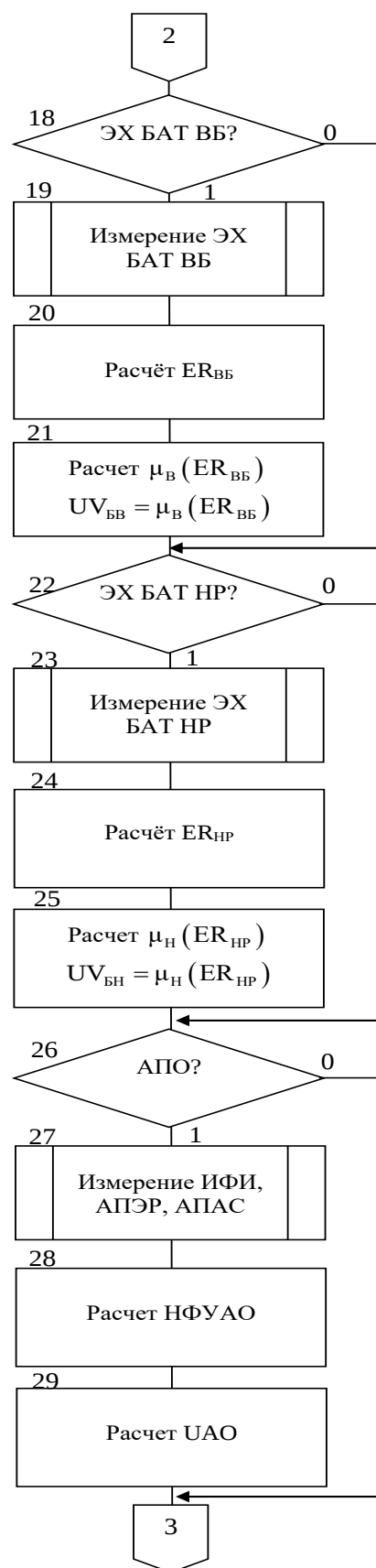


Рис. 1. Продолжение (начало см. на с. 167, окончание на с. 170)

Fig. 1. Continued (see beginning on page 167, ending on page 170)

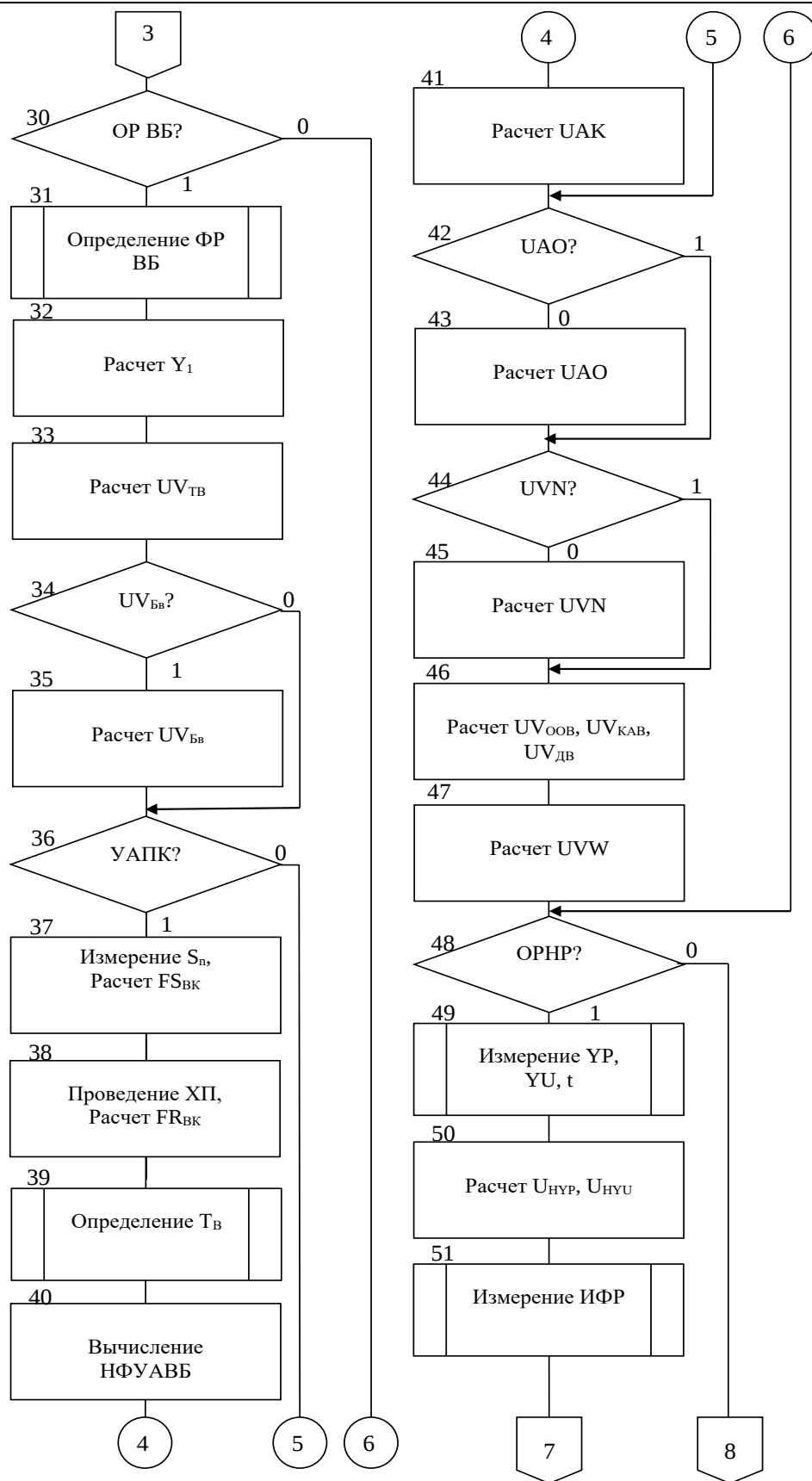


Рис. 1. Продолжение (начало см. на с. 167–168, окончание на с. 170)

Fig. 1. Continued (beginning on pp. 167–168, ending on p. 170)

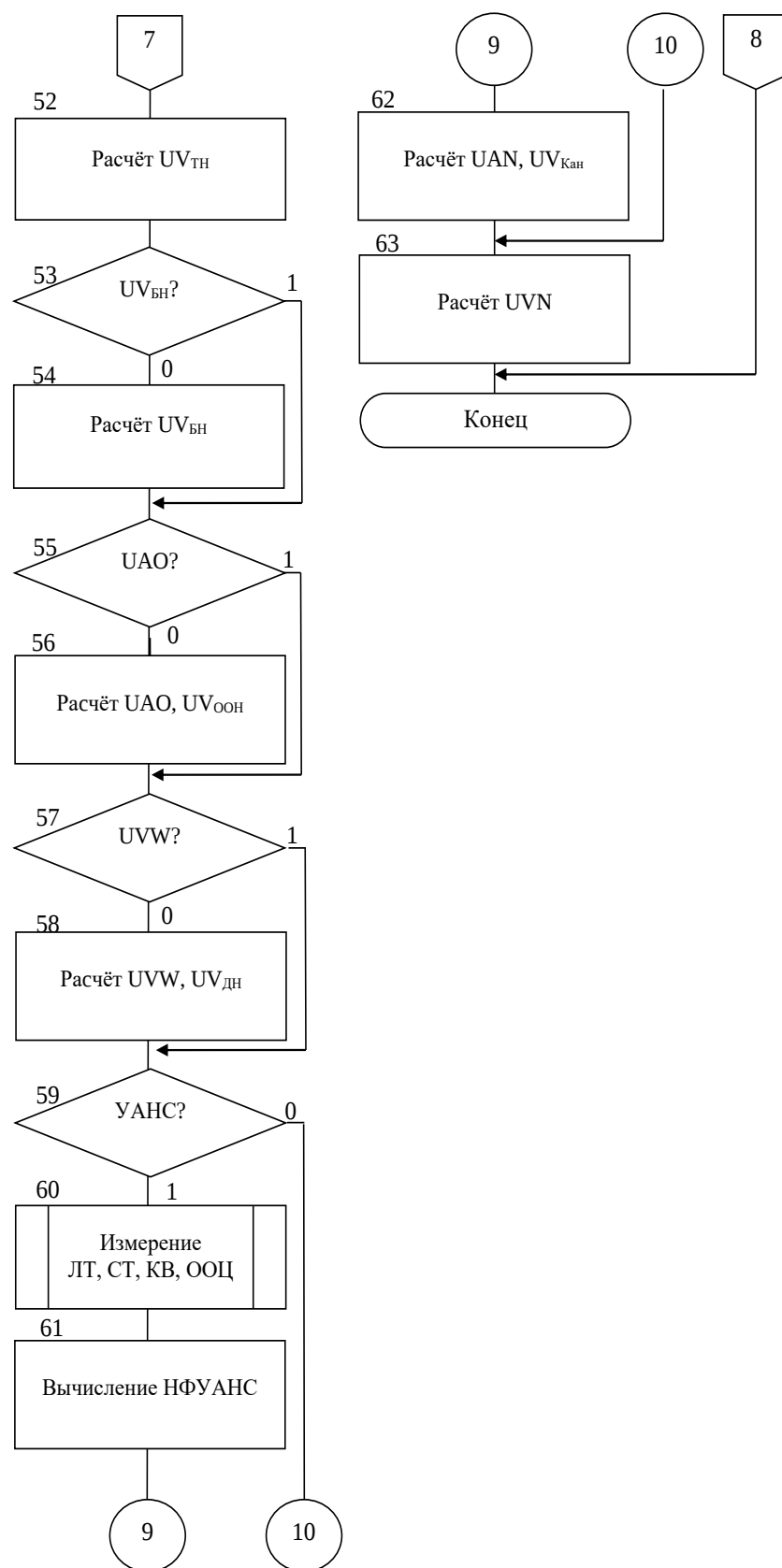


Рис. 1. Окончание (начало см. на с. 167–169)

Fig. 1. The end (see the beginning on pages 167–169)

В современной теории распознавания образов принято перед выбором моделей принятия решений проводить анализ структуры данных с целью поиска наиболее адекватного метода синтеза решающих правил. В ряде работ этот этап исследования называют разведочным анализом (РА) [19]. С учетом выбранной методологии синтеза решающих правил в рамках нечеткой парадигмы при реализации процедуры обучения (ПОБ, блок 1) осуществляется анализ структуры данных (АСД) с формированием пространства информативных признаков (ПИП, блок 2). На этом же этапе исследований формируются рекомендации по выбору элементов и параметров решающих правил и способов их агрегации (РРП, блок 3).

Одной из составляющих решающих правил являются модели оценки степени риска вибрационной болезни (МРВБ) и невротических расстройств (МРНР) по энергетическому разбалансу биологически активных точек. Если решается задача синтеза МРВБ (блок 4), то по атласам меридиан определяется список БАТ, «связанных» с вибрационной болезнью и с использованием метода, описанного в работе [17], определяются информативные и диагностически значимые точки (блок 5). Далее последовательно осуществляется синтез модели оценки энергетического разбаланса информативных БАТ, «связанных» с вибрационной болезнью (блок 6, модель 10), и определяются функции принадлежности к классу высокий риск

вибрационной болезни $\mu_v (ER_{ВБ})$ (блок 7). Аналогично решается задача синтеза МРНР (блоки 8–11).

Второй важной составляющей финальных моделей является модель оценки адаптационного потенциала организма на общесистемном уровне (МОАП). При синтезе этой модели (блок 12) определяется состав информативных показателей (ИП) для оценки уровня адаптационного потенциала организма (УАПО, блок 13), осуществляется синтез нормирующих функций уровня адаптации (НФУА, блок 14), и методом их агрегации получают искомую модель (блок 15). На завершающем этапе осуществляется синтез гибридных моделей оценки степени риска вибрационной болезни и невротических расстройств у врачей стоматологов, контактирующих с виброинструментом (ГМВБН, блок 16).

Контроль за окончанием процесса обучения (ПРО) осуществляется в блоке 17.

При решении задач оценки степени риска вибрационной болезни и невротических расстройств у врачей-стоматологов предлагаемый алгоритм учитывает то, что решение об искомых рисках может приниматься как с использованием всего состава информативных показателей, так и при отсутствии части из них с естественным снижением уровня доверия к получаемым оценкам [19].

Если для оценки степени риска появления и развития виброболезни используются энергетические характеристики БАТ, связанные с виброболезнью по

энергетическому разбалансу биологически активных точек (ЭХБАТББ, блок 18), то измеряются сопротивления точек TR3, TR5 и TR14 (блок 19) и по формуле (10) производится расчет соответствующего энергетического разбаланса (блок 20) и вычисляется функция принадлежности к классу высокий риск вибрационной болезни $\mu_v(ER_{BB})$ (блок 21), определяющая частную уверенность в том, что у стоматолога появится вибрационная болезнь UV_{BB} . Аналогично определяется частная уверенность UV_{BH} , что у стоматолога разовьется нервное расстройство (блоки 22–25).

Если для оценки степени риска выбранной патологии используется адаптационный потенциал организма (АПО, блок 26), то производится измерение индекса функциональных изменений (ИФИ); адаптационного потенциала, определяемого по энергетическому разбалансу общесистемных БАТ (АПЭР), и адаптационного потенциала, определяемого по состоянию антиоксидантной системы защиты (АПАС) (блок 27), с последующим определением нормирующих функций уровня адаптации организма (НФУАО): $f_{ao}(\text{ИФИ})$, $f_{ao}(\text{АПЭР})$, $f_{af}(\text{АПАС})$ (блок 28), далее – используя нечеткую модель (3), вычисляется уровень АПО (показатель $U_{АО}$, блок 29).

При оценке степени риска вибрационной болезни (ОРВБ) по максимальному набору информативных признаков (блок 30) производится определение факторов риска вибрационной болезни (ФРВБ) по традиционному для

профпатологии их списку (блок 31) с расчетом интегрального показателя Y_1 [2] (блок 32) и уверенности в риске появления и развития виброболести UV_{TB} (модель 9, блок 33). Если на предыдущих этапах расчет UV_{BB} (оценка уверенности в возникновении виброболести по энергетическому разбалансу БАТ) не выполнялся (блок 34), а пользователь решает его использовать в оценке риска ВБ, то реализуется блок 35, выполняющий те же расчеты, что и блоки 19–21.

Если принимается решение использовать показатель уровня адаптации периферического кровоснабжения кисти рабочей руки (УАПК, блок 36), то определяется интенсивность кровоснабжения исследуемой конечности по средней площади под регистрируемой фотоплетизмограммой (ФПГ) S_{Π} за заданный промежуток времени t_{Π} и с использованием модели (7) рассчитывается количественная характеристика ФС локальной системы кровоснабжения верхних конечностей FS_{BK} (блок 37). Далее организуется проведение холодовой пробы (ХП) с расчетом величины функционального резерва (модель 8, блок 38), определяется время восстановления кровоснабжения после холодовой пробы T_B (блок 39), вычисляются нормирующие функции уровня адаптации по отношению к виброболести (НФУАВБ): $f_{avk}(FS_{BK})$, $f_{avk}(FR_{BK})$, $f_{avk}(T_B)$ (блок 40), которые агрегируются в модель расчета уровня адаптационного потенциала локальной системы кровоснабжения верхних конечностей

UAK (модель 5, блок 41). Если на предыдущих этапах расчет UAO не выполнялся (блок 42), а пользователь решает его использовать в оценке риска ВБ, то реализуется блок 43, выполняющий те же расчеты, что и блоки 27–29.

Если на предыдущих этапах расчет UVN не выполнялся (блок 44), а пользователь решает его использовать в оценке риска ВБ, то реализуется блок 45, выполняющий расчет показателя уверенности в риске появления и развития нервных болезней. Если в расчетах используются показатели UAK , UAO и (или) UVN , то, используя модели (2), (6) и (или) (11), для них определяются величины $UV_{оав}$, $UV_{Кав}$ YP и (или) $UV_{Дв}$ (блок 46), по которым рассчитывается уверенность в риске возникновения виброболести у стоматологов UVW (модель 1, блок 47).

При оценке степени риска нервных расстройств (ОРНР) по максимальному набору информативных признаков (блок 48) производится определение текущего уровня утомления YU [20] и ПЭН YP [21], время их воздействия t , которые, в свою очередь, определяют прогностическую уверенность в классе по факторам длительное ПЭН $UNYP$ и утомление $UNYU$ (блоки 49, 50).

Производится определение индивидуальных факторов риска ИФР, по которым определяется уверенность в появлении и развитии нервных болезней $UV_{тн}$ по группе индивидуальных факторов риска (блоки 51, 52). Если на предыдущих этапах расчет $UV_{Бн}$ не выполнялся

(оценка уверенности в возникновении нервных болезней по энергетическому разбалансу БАТ) (блок 53), а пользователь решает его использовать в оценке риска нервных расстройств, то реализуется блок 54, выполняющий те же расчеты, что и блоки 23–25.

Если на предыдущих этапах расчет UAO не выполнялся (блок 55), а пользователь решает его использовать в оценке риска нервных расстройств, то реализуется блок 56, выполняющий те же расчеты, что и блоки 27–29, и расчет показателя $UV_{оан}$ (модель 13).

Если на предыдущих этапах расчет UVW не выполнялся (блок 57), а пользователь решает его использовать в оценке риска нервных расстройств, то реализуется блок 58, выполняющий расчет показателя уверенности в риске появления и развития виброболести (блок 30) и расчет показателя $UV_{Дн}$ (модель 16).

Если пользователь решил использовать показатель уровня адаптации нервной системы (УАНС, блок 59), то фиксируются результаты выполнения тестов «личная тревожность» ЛТ и «ситуативная тревожность» СТ, определяются показатель концентрации внимания КВ и характеристика оперативной памяти, определяемая по методике «определение отсутствующей цифры» ООЦ (блок 60), вычисляются нормирующие функции уровня адаптации НС (блок 61), определяется уровень адаптационного потенциала нервной системы и показатель $UV_{Кан}$ (модель 14) (блок 62). Оценка

уверенности в риске возникновения нервных болезней у стоматологов *UVN* реализуется блоком 63 (модель 12).

Проверка качества работы полученных моделей принятия решений и алгоритма принятия решений осуществлялась по трехуровневой схеме. На первом уровне производилась экспертная оценка уровня доверия к прогностическим моделям (1) и (12).

На втором уровне эксперты составляли контрольные выборки, в которые включались объекты, в классификации которых не было сомнений на общепринятом уровне, и объекты со значениями факторов риска, которые, по мнению экспертов, равновероятно можно отнести как к одному, так и к другому исследуемому классу состояний. По этим выборкам определялось количество правильных и ошибочных «срабатываний» исследуемых решающих правил (модели 1 и 12) и рассчитывались общепринятые в медицинских исследованиях показатели качества: диагностическая чувствительность (ДЧ); специфичность (ДС); диагностическая эффективность

(ДЭ); прогностическая значимость положительных ($PЗ^+$) и отрицательных ($PЗ^-$) результатов, которые превысили величину 0,9.

Третий уровень проводился на репрезентативных контрольных выборках с использованием независимых общепринятых методов исследования. Объем контрольной выборки определяется в соответствии с требованиями, принятыми в теории распознавания образов, и составил 100 человек на класс. Качество классификации проверялось по показателям ДЧ, ДС, ДЭ, $PЗ^+$ и $PЗ^-$.

Выводы

В ходе проведенных исследований было показано, что модели прогноза вибрационной болезни и невротических расстройств у людей, контактирующих с виброинструментом, обеспечивают уверенность в правильном принятии решения на уровне 0,93 и выше на трехлетний период, что является приемлемым практическим результатом для задач прогнозирования с нечеткой структурой классов.

Список литературы

1. Федотова Ю. М., Костюкова Ю. И. Профессиональные заболевания врача-стоматолога // Научное обозрение. Медицинские науки. 2017. № 2. С. 19–21.
2. Оценка риска появления и развития виброболезни у стоматологов на основе нечеткой логики принятия решений / О. А. Кныш, С. Н. Родионова, Л. В. Стародубцева, Т. Н. Волобуева // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2025. Т. 11, № 2. С. 515–521.
3. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы, провоцируемых комбинированным воздействием разнородных факторов риска / Т. Н. Говорухина, М. А. Мясоедова, И. Ю. Григоров, А. В. Поляков //

Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 110–116. <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.2.022>

4. Метод диагностики преходящих невротических расстройств на основе нечетких гибридных моделей / Р. И. Сафронов, О. А. Кныш, С. Н. Родионова, Л. В. Стародубцева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 11, № 2. С. 120–137.

5. Корневский Н. А., Сафронов Р. И., Серебровский В. И. Системы поддержки принятия решений врачей профпатологов с гибридной нечеткой сетевой базой знаний: монография. Курск: Курская государственная аграрная академия имени И. И. Иванова, 2021. 333 с.

6. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.

7. Корневский Н. А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1 (289). С. 33–35.

8. Сафронов Р. И., Стародубцева Л. В., Крикунова Е. В. Перспективы применения мягких вычислений и информационных технологий в профпатологии: монография. Курск: Издательство Курской государственной аграрной академии имени И. И. Иванова, 2018. 232 с.

9. Method of ergonomics assessment of technical systems and its influence on operators health on basis of hybrid fuzzy models / R. T. Al-Kasasbeh, M. S. Alshamasin, N. Korenevskii, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. N 590. P. 581–592.

10. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases / R. T. Al-Kasasbeh, M. S. Alshamasin, N. Korenevskiy, S. Korenevskya, E. T. Al-Kasasbeh, I. Maksim // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. N 792. P. 143–154.

11. Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса монография / Н. А. Корневский, А. В. Серебровский, Р. В. Степашов, Т. Н. Говорухина. Курск: Курская государственная аграрная академия имени И. И. Иванова, 2016. 224 с.

12. Математические модели оценки влияния электромагнитных полей на появление и развитие профессиональных заболеваний в электроэнергетической отрасли / М. А. Мясоедова, Н. А. Корневский, Л. В. Стародубцева, М. В. Писарев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 2. С. 27–42. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.013>

13. Бокерия Л. А., Быков А. В., Корневский Н. А. Оптимизация ведения пациентов с мультицентричным ишемическим поражением на базе нечетких интеллектуальных технологий: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 400 с.
14. Использование показателей, характеризующих адаптационные механизмы для оценки уровня защиты организма от воздействия внешних факторов риска / Р. И. Сафронов, С. Н. Родионова, Е. В. Крикунова, Л. В. Стародубцева, С. С. Сергеева, А. В. Титова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 163–179.
15. Корневский Н. А., Титова А. В., Сурнина А. И. Оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на функциональное состояние и работоспособность операторов на основе технологии мягких вычислений // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 2. С. 120–137.
16. Бойцова Е. А., Шуткин А. Н., Магеровский М. А. Оценка уровня функциональных резервов организма на основе технологий мягких вычислений и модели Г. Раша // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 14, № 3. С. 577–584.
17. Корневский Н. А., Крупчатников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2020. 528 с.
18. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: ТНТ, 2016. 472 с.
19. Метод комплексной оценки уровня информативности классификационных признаков в условиях нечеткой структуры данных / Н. А. Корневский, В. В. Аксенов, С. Н. Родионова, С. Н. Гонтарев, Л. П. Лазурина, Р. И. Сафронов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. № 3. С. 80–96.
20. Шуткин А. Н., Бойцова Е. А., Стародубцева Л. В. Оценка уровня утомления с использованием теории измерения латентных переменных // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2015. Т. 14, № 3. С. 553–561.
21. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний неравной системы, провоцируемых комбинированным воздействием разнородных факторов риска / Т. Н. Говорухина, М. А. Мясоедова, И. Ю. Григоров, А. В. Поляков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 145–153.

References

1. Fedotova Y.M., Kostyukova Y.I. Occupational diseases of dentists. *Scientific Review. Medical Sciences*. 2017;(2):19–21. (In Russ.)
2. Knysh O.A., Rodionova S.N., Starodubtseva L.V., Volobuyeva T.N. Assessment of the risk of occurrence and development of vibration disease in dentists based on fuzzy logic of decision-making. *Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2025;11(2):515–521. (In Russ.)
3. Govorukhina T.N., Myasoyedova M.A., Grigorov I.YU., Polyakov A.V. Mathematical models for forecasting and early diagnosis of nervous system diseases caused by the combined effects of heterogeneous risk factors. *Sistemnyy analiz i upravleniye v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2019;18(2):110–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.2.022>
4. Safronov R.I. Knysh O.A., Rodionova S.N., Starodubtseva L.V. Method for diagnosing transient neurotic disorders based on fuzzy hybrid models. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;11(2):120–137. (In Russ.)
5. Korenevskiy N.A., Safronov R.I., Serebrovskii V. I. Decision support systems for occupational pathologists with a hybrid fuzzy network knowledge base. Kursk: Kurskaya gosudarstvennaya agrarnaya akademiya imeni I.I. Ivanova; 2021. 333 p. (In Russ.)
6. Korenevskiy N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems. Stary Oskol: TNT; 2019. 472 p. (In Russ.)
7. Korenevskiy N.A. Using fuzzy logic for decision-making for medical expert systems. *Meditsinskaya tekhnika = Medical Equipment*. 2015;(1):33–35. (In Russ.)
8. Safronov R.I., Starodubtseva L.V., Krikunova E.V. Prospects for the Application of Soft Computing and Information Technologies in Occupational Pathology. Kursk: Izdatel'stvo Kurskoi gosudarstvennoi agrarnoi akademii imeni I.I. Ivanova, 2018. 232 p.
9. Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M.S., Korenevskiy N., Maksim I. Method of ergonomics assessment of technical systems and its influence on operator health based on hybrid fuzzy models. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018;(590):581–592.
10. Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M.S., Korenevskiy N., Korenevskaya S., Al-Kasasbeh E.T., Maksim I. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019;(792):143–154.
11. Korenevskiy N.A., Serebrovskiy A.V., Stepashov R.V., Govorukhina T.N. Using soft computing technologies to predict and diagnose occupational diseases of workers in the agro-industrial complex. Kursk: Kurskaya gosudarstvennaya agrarnaya akademiya imeni I.I. Ivanova; 2016. 224 p. (In Russ.)

12. Myasoedova M.A., Korenevskiy N.A., Starodubceva L.V., Pisarev M.V. Mathematical models for assessing the influence of electromagnetic fields on the occurrence and development of occupational diseases in the electric power industry. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii = Modeling, Optimization And Information Technology*. 2019;7(2):27–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.013>
13. Bokeria L.A., Bykov A.V., Korenevskiy N.A. Optimization of patient management with multicentric ischemic lesions based on fuzzy intelligent technologies. Staryj Oskol: TNT; 2019. 400 p. (In Russ.)
14. Safronov R.I., Rodionova S.N., Krikunova E.V., Starodubtseva L.V., Sergeeva S.S., Titova A.V. Use of indicators characterizing adaptive mechanisms to assess the level of the body's protection from the influence of external risk factors. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments*. 2021;11(4):163–179. (In Russ.)
15. Korenevskiy N.A., Titova A.V., Surnina A.I. Assessment of the influence of electromagnetic fields of the radio frequency range on the functional state and performance of operators based on soft computing technology. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments*. 2021; 11(2):120–137. (In Russ.)
16. Boytsova E.A., Shutkin A.N., Magerovsky M.A. Assessment of the level of functional reserves of the body based on soft computing technologies and G. Rasch's model. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2017;14(3):577–584. (In Russ.)
17. Korenevskiy N.A., Krupchatnikov R.A., Al-Kasasbeh R.T. Theoretical foundations of the biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology, and ecology based on fuzzy network models. Staryj Oskol: TNT; 2020. 528 p. (In Russ.)
18. Korenevskiy N.A., Shutkin A.N., Gorbatenko S.A., Serebrovsky V.I. Assessment and management of students' health based on hybrid intelligent technologies. Staryj Oskol: TNT; 2016. 472 p. (In Russ.)
19. Korenevskiy N.A., Aksenov V.V., Rodionova S.N., Gontarev S.N., Lazurina L.P., Safronov R.I. Method for comprehensive assessment of the level of information content of classification features in conditions of fuzzy data structure. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments*. 2023;(3):80–96. (In Russ.)

20. Shutkin A.N., Boytsova E.A., Starodubtseva L.V. Assessing the level of fatigue using the theory of measuring latent variables. *Sistemny`j analiz i upravlenie v biomedicinskix sistemax* = *Systems Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2019;18(2):145–153. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

Кныш Ольга Анатольевна, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ol.knish@yandex.ru

Olga A. Knysh, Postgraduate of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ol.knish@yandex.ru

Разумова Ксения Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: myelectronworld@mail.ru ORCID: 0009-0007-7942-8083

Ksenia V. Razumova, Candidate of Sciences (Engineering), Senior Lecturer of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: myelectronworld@mail.ru, ORCID: 0009-0007-7942-8083

Родионова Софья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975, Scopus ID: 57195455825, WOS ID: Q-1060-2017

Sofia N. Rodionova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: knsofia@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4477-3975, Scopus ID: 57195455825, WOS ID: Q-1060-2017

Филист Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: SFilist@gmail.com, Researcher ID: F-8112-2013, ORCID: 0000-0003-1358-671X, Scopus ID: 6603139063,

Sergey A. Filist, Doctor of Sciences (Engineering), Professor of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: SFilist@gmail.com, Researcher ID: F-8112-2013, ORCID: 0000-0003-1358-671X, Scopus ID: 6603139063,

Мишустин Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры хирургических болезней института непрерывного образования, Курский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vladimirshf2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4104-5681

Vladimir N. Mishustin, Doctor of Sciences (Medical), Associate Professor, Professor of the Department of Surgical Diseases at the Institute of Continuing Education, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Kursk, Russian Federation, e-mail: vladimirshf2011@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-4104-5681