

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-181-196>



УДК 621.391.26

Нечеткие модели ранней диагностики неврозов, провоцируемых факторами риска инженерного труда

О. Ю. Лукаш¹, Р. И. Сафронов², С. Н. Родионова¹, К. В. Разумова¹ ✉,
О. А. Кныш¹, А. А. Трусевич¹

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

² Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова
ул. К. Маркса, д. 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Резюме

Целью исследования является синтез нечетких моделей ранней диагностики неврозов, провоцируемых факторами риска инженерного труда, обеспечивающих приемлемое для практической медицины качество принимаемых решений.

Методы. Анализ структуры данных и исследуемых классов невротических расстройств показал, что задачи ранней диагностики, включая раннюю диагностику неврозов, относятся к классу плохоформализуемых задач. Это позволяет использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанную в Юго-Западном государственном университете, в качестве базового математического аппарата. Эффективность использования этой методологии многократно проверялась на различных задачах прогнозирования и медицинской диагностики со структурой данных аналогичной нашей задаче.

Результаты. В ходе проведенных исследований было реализовано три уровня проверки качества работы полученных моделей принятия решений. На первом уровне оценка производилась экспертами путем определения мер доверия к полученным решающим правилам. На втором уровне эксперты составили модельные контрольные выборки, по которым определялось количество правильных и ошибочных решений диагностической модели. На третьем уровне контроля формировались контрольные выборки, в которых наличие ранних стадий проверялось с использованием независимых общепринятых методов исследования. В ходе проведенных расчетов было показано, что качество классификации превышает величину 0,95.

Заключение. Получены нечеткие решающие правила диагностики ранних стадий неврозов у инженерно-технических работников, провоцируемых факторами риска инженерного труда. Оценка качества ранней диагностики осуществлялась с использованием методов экспертного оценивания, математического моделирования и статистического анализа и показала, что полученные гибридные нечеткие модели обеспечивают приемлемое качество ранней диагностики невротических расстройств у инженерно-технических работников различных специальностей, работающих в условиях различной напряженности труда.

Ключевые слова: невротические расстройства; математические модели; ранняя диагностика; инженерно-технический персонал; нечеткие решающие правила.

Финансирование: Работа выполнена в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» проекта «Приоритет – 2030».

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Нечеткие модели ранней диагностики неврозов, провоцируемых факторами риска инженерного труда / О. Ю. Лукаш, Р. И. Сафронов, С. Н. Родионова, К. В. Разумова, О. А. Кныш, А. А. Трусевич // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 4. С. 181–196. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-181-196>

Поступила в редакцию 11.10.2024

Подписана в печать 09.11.2024

Опубликована 27.12.2024

Fuzzy models of early diagnosis of neuroses provoked by risk factors of engineering labor

Olesya Y. Lukash¹, Ruslan I. Safronov², Sofya N. Rodionova¹,
Ksenia V. Razumova¹ ✉, Olga A. Knysh¹, Alyona A. Trusevich¹

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

² Kursk State Agricultural Academy named after I. I. Ivanov
70 K. Marx Str., Kursk 305021, Russian Federation

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Abstract

The purpose of the research to synthesize fuzzy models of early diagnosis of neuroses provoked by risk factors in engineering work that ensure the quality of decisions made is acceptable for practical medicine.

Methods. Analysis of the data structure and the studied classes of neurotic disorders showed that early diagnostic tasks, including early diagnosis of neuroses, belong to the class of poorly formulated tasks. This allows using the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules, developed at the South-West State University, as a basic mathematical apparatus. The effectiveness of using this methodology has been repeatedly tested on various problems of forecasting and medical diagnostics with a data structure similar to our problem.

Results. In the course of the research, three levels of checking the quality of the work of the resulting decision-making models were implemented. At the first level, the assessment was carried out by experts by determining confidence levels in the resulting decision rules. At the second level, the experts compiled model control samples, according to which the number of correct and erroneous decisions of the diagnostic model was determined. At the third level of control, control samples were formed in which the presence of early stages was checked using independent generally accepted research methods. The calculations showed that the quality of classification exceeds 0.95.

Conclusion. Fuzzy decisive rules for diagnosing the early stages of neuroses in engineering and technical workers were obtained. provoked by risk factors of engineering work. The assessment of the quality of early diagnosis was carried out using methods of expert assessment, mathematical modeling and statistical analysis and showed that the resulting hybrid fuzzy models provide acceptable quality of early diagnosis of neurotic disorders in engineering and technical workers of various specialties working in conditions of varying work intensity.

Keywords: neurotic disturbances; mathematical models; early diagnostics; engineering staff; fuzzy decision rules.

Funding: The work was carried out within the framework of the implementation of the development program of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Southwest State University" of the "Priority – 2030" project.

Conflict of interest: *The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.*

For citation: Lukash O.Y., Safronov R.I., Rodionova S.N., Razumova K.V., Knysh O.A., Trusevich A.A. Fuzzy models of early diagnosis of neuroses provoked by risk factors of engineering labor. *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*. 2024;14(4):181–196. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-181-196>

Received 11.10.2024

Accepted 09.11.2024

Published 27.12.2024

Введение

Анализ отечественной и зарубежной литературы и собственные исследования показали, что инженерный труд в условиях повышения технического потенциала современного производства требует повышения творческой активности специалистов. Творческая активность инженеров зависит от удовлетворенности работой, социальной значимости и престижа профессии, а также от стремления к профессиональному самосовершенствованию, что, в свою очередь, требует соответствующего здоровья. Неоспорима взаимосвязь между творческой активностью и сочетанием внешних (технологические особенности производства) и внутренних (черты личности, самооценка, увлеченность) факторов, активирующих нервно-психическую деятельность. При возникновении несоответствия состояния функциональных систем работающего организма профессиональным факторам риска может возникать производственный стресс. Это состояние может быть причиной эмоционального, психического и физического истощения, что негативно сказывается на здоровье работающего инженерно-технического персонала. Адаптация к условиям труда требует не только профессиональных навыков, но и устойчивости к внешним стрессовым

факторам [1]. Таким образом, инженерная деятельность при определенных условиях может приводить к появлению и развитию ряда заболеваний, среди которых наиболее распространенными являются невротические расстройства, приграничные психические расстройства и сердечно-сосудистые заболевания. В данной работе решается задача синтеза моделей ранней диагностики неврозов, провоцируемых факторами риска инженерного труда, поскольку своевременное обнаружение этого класса заболеваний и проведение адекватных профилактических мероприятий позволяет, с одной стороны, повысить производительность труда инженеров, а с другой – предотвратить переход к более серьезным классам сердечно-сосудистых заболеваний [2].

Решая вопрос о выборе математического аппарата исследований, авторы руководствовались тем, что наилучшие результаты диагностики, включая раннюю диагностику, достигаются, если используемые математические модели адекватны структуре данных и изучаемых классов состояний [3].

Проведенный разведочный анализ показал, что задачи ранней диагностики, включая раннюю диагностику неврозов, относятся к классу плохоформализуемых задач с нечетким описанием

исследуемых классов состояний, поэтому в качестве базового математического аппарата возможно использование методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), разработанной в Юго-Западном государственном университете [3]. Эффективность применения данной методологии многократно проверялась на различных задачах прогнозирования и медицинской диагностики со структурой данных, аналогичной структуре решаемой в работе задачи. Например, в работе [4] показываюются преимущества МСГНРП при решении задач прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики среди инженерного состава, у которых распространены заболевания нервной системы, в работе [5] в рамках выбранной методологии предложен метод синтеза решающих правил оценки влияния эргономики технических систем на состояние здоровья персонала управляющего работой этих систем, включая инженерный состав, а в работе [6] эта методология используется для синтеза решающих правил оценки влияния экологических факторов риска на состояние здоровья, в работе [7] МСГНРП эффективно использована при решении задач прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний у инженерно-технических сотрудников, работающих в гальванических цехах. Также эта методология успешно применялась при решении следующих медицинских задач: диагностика заболеваний поджелудочной железы [8], прогнозирование и диагностика

профессиональных заболеваний локомотивных бригад [9], оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на состояние здоровья [10], оценка состояния здоровья в зоне действия чрезвычайных ситуаций [11], оценка влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на работоспособность и функциональное состояние [12], оптимизация ведения пациентов с ишемией нижних конечностей [13], диагностика патологии желчных протоков [14], прогнозирование возникновения и развития фатальных осложнений [15], дифференциальная диагностика форм пиелонефрита [16], прогнозирование фатальных осложнений при развитии коронавирусной инфекции [17], прогнозирование инфаркта миокарда [18], оптимизация ведения пациентов с мультицентричным ишемическим поражением [19] и т. д. Анализ эффективности применения МСГНРП при решении перечисленных и других решенных плохоформализуемых задач позволил сделать вывод о целесообразности применения этой методологии для синтеза решающих правил ранней диагностики неврозов у инженерно-технических работников. В этой работе в качестве основных элементов МСГНРП используются функции принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ к гипотезам (классам) ω_ℓ , а в качестве базовых переменных наиболее часто выбираются информативные признаки, комплексные показатели, характеризующие объекты исследования, коэффициенты уверенности KU_{ω_ℓ} по событиям ω_ℓ и т. д.

Материалы и методы

В соответствии с общими рекомендациями МСГНРП на первом этапе синтеза искомым решающим правил в ходе разведочного анализа определяется состав информативных признаков. С учетом нечеткой природы обрабатываемых данных состав информативных признаков формировался с учетом рекомендаций [20]. На этом этапе синтеза было показано, что для выяснения наличия ранних стадий невротических расстройств следует использовать систему информативных признаков принятых в традиционной медицинской практике (показатель YOT_p), электрический разбаланс БАТ, связанных с неврозами (показатель ER_N), уровень адаптации организма в целом (показатель UAO), количественные характеристики функционального резерва органов и систем мишеней (показатель YF_p) и показатель уверенности в прогнозе появления неврозов (показатель YPN).

Набор информативных признаков традиционной медицинской практики был определен следующим образом:

1. Снижение концентрации внимания (x_1).
2. Ухудшение памяти (x_2).
3. Спутанность мышления (x_3).
4. Спазмы в животе, ухудшение аппетита (x_4).
5. Зуд и покраснения кожи (x_5).
6. Расстройства сексуального характера (x_6).
7. Беспокойный сон или бессонница (возможна сонливость), может сохраняться на протяжении всего дня (x_7).

8. Частые позывы в туалет (x_8).
9. Болезненные ощущения в мышцах (x_9).
10. Головные боли (x_{10}).
11. Нарушение артериального давления (x_{11}).
12. Изменение сердечного ритма (x_{12}).
13. Периодическая нехватка воздуха (x_{13}).
14. Периодическое ощущение боли в разных органах и наиболее часто в области сердца (x_{14}).
15. Увеличенная частота повышения температуры (x_{15}).

Учитывая, что первые два признака измеряются прибором контроля функций внимания и памяти (ПКФ-ВП), описанным в работе [21], соответствующие функции принадлежности μ_{p1} (КВ) и μ_{p2} (ПВВ) к классу наличия ранней стадии невротических расстройств YV_p и YP_p определяются по шкалам этого прибора с использованием методик КВ и ПВВ:

$$YV_p = \mu_{p1}(\text{КВ}) = \begin{cases} 0, & \text{если КВ} < 100, \\ 0,000015(\text{КВ} - 100)^2, & \text{если } 100 \leq \text{КВ} < 200, \\ 0,3 - 0,000015(\text{КВ} - 100)^2, & \text{если } 200 \leq \text{КВ} < 300, \\ 0,3, & \text{если КВ} \geq 300. \end{cases} \quad (1)$$

$$YP_p = \mu_{p2}(\text{ПВВ}) = \begin{cases} 0, & \text{если ПВВ} < 1000, \\ 6 \cdot 10^{-7} (1000 - \text{ПВВ})^2, & \text{если } 1000 \leq \text{ПВВ} < 1500, \\ 0,3 - 6 \cdot 10^{-3} (2000 - \text{ПВВ})^2, & \text{если } 200 \leq \text{ПВВ} < 300, \\ 0,3, & \text{если ПВВ} \geq 2000. \end{cases} \quad (2)$$

По остальным признакам было выбрано двоичное кодирование признаков ($x_i = 1$ – есть фактор, $x_i = 0$ – нет фактора). Все факторы риска от x_3 до x_{15} при синтезе соответствующего частного правила представлены в виде суммы x_i , т. е.

$$X = \sum_{i=3}^{15} x_i.$$

Уверенность в появлении ранней стадии невротических расстройств по всем 13 признакам определяется функцией принадлежности $\mu_{p13}(X)$ и описывается выражением

$$\mu_{p13}(X) = \begin{cases} 0, & \text{если } X < 3, \\ 0,1X - 0,3, & \\ \text{если } 3 \leq X < 9, & \\ 0,6, & \text{если } X \geq 9. \end{cases}$$

Агрегация $\mu_{p13}(X)$ с моделями (1) и (2) дает частную модель оценки уверенности в наличии ранней стадии невротических расстройств по системе информативных признаков, принятых в традиционной медицинской практике YOT_p :

$$YOT_p = YV_p + YP_p + \mu_{p13}(X) - YV_p YP_p - YV_p \mu_{p13}(X) - YP_p \mu_{p13}(X) + YV_p YP_p \mu_{p13}(X). \quad (3)$$

Уровень адапционного потенциала всего организма UAO определяется в соответствии с рекомендациями [22], а частная модель оценки уверенности в наличии ранней стадии невротических расстройств – по уровню адапционного потенциала всего организма YA_p

через соответствующую функцию принадлежности $\mu_{nao}(UAO)$:

$$YA_p = \mu_{nao}(UAO) = \begin{cases} 0, & \text{если } UAO < 0,2; \\ 1,11(UAO - 0,2)^2, & \\ \text{если } 0,2 \leq UAO < 0,5; & \\ 0,2 - 0,11(UAO - 0,8)^2, & \\ \text{если } 0,5 \leq UAO < 0,8; & \\ 0,2, & \text{если } UAO \geq 0,8. \end{cases} \quad (4)$$

Частная уверенность в наличии ранней стадии невротических расстройств по энергетическому разбалансу БАТ определяется функцией принадлежности $\mu_{pB}(ER_N)$ к лингвистической переменной «ранняя стадия невроза по величине энергетического разбаланса БАТ»:

$$YB_p = \mu_{pB}(ER_N). \quad (5)$$

В выражении (5) энергетический разбаланс системы информативных точек для ситуации невроз определяется моделью вида

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ}[(\delta R_{C6} > 10\%) \text{И}(\delta R_{IG7} > 10\%)] \\ & \text{ТО}[ER_N = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 EY_j(\delta R_j)] \\ & \text{ИНАЧЕ}(\exists P = 0), \end{aligned}$$

где ER_N – уровень энергетического разбаланса системы информативных точек для ситуации невроз; $EY_j(\delta R_j)$ – энергетический разбаланс точки с именем Y_j ; $\delta R_1 = \delta R_{C6}$; $\delta R_2 = \delta R_{IG7}$; $\delta R_3 = \delta R_{V14}$; $\delta R_4 = \delta R_{V22}$; $\delta R_5 = \delta R_{V43}$.

Показатель уверенности в прогнозе появления неврозов (YPN) определяется в соответствии с рекомендациями работы [2].

Для оценки уверенности в наличии ранней стадии невротических расстройств Y_{PYP} эксперты получили функцию принадлежности к лингвистической переменной «Ранняя стадия невроза по уровню уверенности YPN » – $\mu_{PYP}(YPN)$:

$$Y_{PYP} = \mu_{PYP}(YPN) = \begin{cases} 0, & \text{если } YPN < 0,3, \\ 2,22(YPN - 0,3)^2, & \text{если } 0,3 \leq YPN < 0,6, \\ 0,4 - 2,22(YPN - 0,8)^2, & \text{если } 0,6 \leq YPN < 0,9, \\ 0,4, & \text{если } YPN \geq 0,9. \end{cases} \quad (6)$$

Оценка уверенности в наличии ранней стадии невроза определяется с помощью методик полного воспроизведения (ПВВ) и переключаемости внимания (ПВ) с помощью двух показателей: скоростного VV_j восстановления уровня ФС и отношения ON_j уровня ФС до и после воздействия нагрузкой [23], т. е.:

$$ON_j = FS_{Oj} / FS_{Hj}, \quad (7)$$

$$VV_j = (FS_{Oj} - FS_{Hj}) / T_H. \quad (8)$$

Эти показатели используются для определения функций уровня функционального резерва $f_j(ON_j)$ и $f_j(VV_j)$, по которым определяется искомый функциональный резерв FR_j [23]:

$$FR_j = AG_{FRj} [f_j(ON_j), f_j(VV_j)], \quad (9)$$

где AG_{FRj} – функция агрегации для $f_j(ON_j)$ и $f_j(VV_j)$.

Для когнитивной функции внимания получены аналитические выражения функций $f_j(ON_j)$ и $f_j(VV_j)$:

$$f_{RFV}(ON_V) = \begin{cases} 0,5, & \text{если } ON_V < 1,0, \\ -0,16 ON_V + 0,66, & \text{если } 1,0 \leq ON_V < 3,5, \\ 0,1, & \text{если } ON_V \geq 3,5. \end{cases}$$

$$f_{FRV}(VV_V) = \begin{cases} 0,4, & \text{если } VV_V < 1,0, \\ -0,05 VV_V + 0,45, & \text{если } 1,0 \leq VV_V < 7, \\ 0,1, & \text{если } VV_V \geq 7. \end{cases}$$

Функциональный резерв функции внимания определяется выражением

$$FR_{ПВ} = f_{RFV}(ON_V) + f_{FRV}(VV_V) - f_{RFV}(ON_V) \times f_{FRV}(VV_V).$$

Функция принадлежности для частной уверенности, характеризующей раннюю стадию невроза по $FR_{ПВ}$, вычисляется по формуле

$$\mu_{РФР}(FR_{ПВ}) = \begin{cases} 0,3, & \text{если } FR_{ПВ} < 0,1, \\ -0,5FR_{ПВ} + 0,35, & \text{если } 0,1 \leq FR_{ПВ} < 0,7, \\ 0, & \text{если } FR_{ПВ} \geq 0,7. \end{cases}$$

Функциональный резерв оперативной памяти для шкалы $ПВВ$ определяется по формуле

$$FR_{ПВВ} = f(ON) + f(VV) - f(ON) \cdot f(VV),$$

$$\text{где } f_{ON} = \begin{cases} 1, & \text{если } ON \leq 1, \\ -0,1 ON + 0,7, & \text{если } 1 < ON \leq 6, \\ 0,1, & \text{если } ON > 6. \end{cases}$$

$$f_{VV} = \begin{cases} -VV + 0,5, & \text{если } VV < 0,4, \\ 0,1, & \text{если } VV > 0,4. \end{cases}$$

Для показателя $FR_{ПВВ}$ соответствующая функция принадлежности определяется формулой

$$\mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВВ}}) = \begin{cases} 0,4 & \text{если } FR_{\text{ПВВ}} < 0,2, \\ -0,8FR_{\text{ПВВ}} + 0,56, & \\ \text{если } 0,2 \leq FR_{\text{ПВВ}} < 0,7, & \\ 0, & \text{если } FR_{\text{ПВВ}} \geq 0,7. \end{cases}$$

Агрегация $\mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВ}})$ и $\mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВВ}})$ дает частную модель оценки уверенности в наличии ранней стадии невроза по величинам функционального резерва:

$$YF_p = \mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВ}}) + \mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВВ}}) - \mu_{\text{РФР}}(FR_{\text{ПВ}})(FR_{\text{ПВВ}}). \quad (10)$$

Полученные частные модели ранней диагностики неврозов при выполнении инженерно конструкторской деятельности на основе рекомендаций МСГНРП объединяются в общую диагностическую модель вида:

$$YRF(j+1) = YRF(j) + R_q[1 - YRF(j)], \quad (11)$$

где $YRF(1) = R_1 = YOT_p$; $R_2 = YA_p$;

$R_3 = YB_p$; $R_4 = YPY_p$; $R_5 = YF_p$.

Проведенная в рамках МСГНРП экспертная оценка уровня доверия к диагностической модели (11) показала, что данная модель обеспечивает уверенность в правильном принятии решений не меньше 0,95, следовательно, считается хорошим результатом для подобного класса решающих правил.

Результаты и их обсуждение

В ходе проводимых исследований было реализовано три уровня проверки качества работы полученных моделей принятия решений.

На первом уровне оценка производилась экспертами путем определения мер доверия к решениям, полученным с использованием искомых решающих правил в соответствии с методом описанным в работы [20]. Проведенная в рамках МСГНРП экспертная оценка уровня доверия к диагностической модели (11) превышает величину 0,95.

На втором уровне эксперты составили модельные контрольные выборки, по которым определялось количество правильных и ошибочных решений прогностической и диагностической моделями. В контрольные выборки включались объекты с ярко выраженными объектами альтернативных классов (отсутствие и незначительное число факторов риска для класса «здоров» и наличие всех и большинства факторов риска для альтернативного класса) с наиболее часто встречающимися значениями факторов риска для обеих классов, со значениями факторов риска, которые, по мнению экспертов, равновероятно можно отнести как к одному, так и к другому исследуемому классу состояний. В ходе математического моделирования, проводимого по контрольным выборкам, сформированным экспертами, уверенность в правильной классификации для модели (11) составила 0,97.

Для реализации третьего уровня контроля формировались контрольные выборки, в которых прогноз возникновения и развития невротических расстройств и наличие их ранних стадий проводилась с использованием

независимых общепринятых методов исследования. В исследовании принимали участие проектировщики радиоэлектронных систем, конструкторы систем автоматики, проектировщики строительных конструкций и руководители конструкторских отделов, что позволило в контрольные выборки включить обследуемых с различным стажем работы и различной напряженностью труда, являющейся одним из основных факторов риска. Объем контрольной выборки составил 100 человек на класс. Качество классификации определялось по диагностической чувствительности (ДЧ), специфичности (ДС) и диагностической эффективности (ДЭ).

Для статистической проверки качества работы моделей ранней диагностики (модель 11) ежегодно с 2020 по 2024 гг. отбирались по 100 человек, которые при выполнении инженерно-конструкторской деятельности не получили неврозов, и 100 человек той же профессии с подтвержденной ранней стадией невротических расстройств. В ходе проведенных расчетов получены следующие средние значения показателей качества: ДЧ = 0,96, ДС = 97 и ДЭ = 0,96, что обеспечивают приемлемое для практики качество принимаемых решений.

Таким образом, трехуровневая проверка качества полученных в работе моделей позволяет рекомендовать результаты проведенного исследования для использования в практической медицине.

Выводы

В работе получены нечеткие модели ранней диагностики неврозов, провоцируемых факторами риска инженерного труда, в составе которых используются: показатель уровня адаптации организма в целом, электрический разбаланс БАТ, связанных с неврозами, показатель уверенности в прогнозе появления неврозов, система информативных признаков, принятых в традиционной медицинской практике, количественные характеристики функционального резерва органов и систем мишеней. Проведенная оценка качества принимаемых решений с использованием методов экспертного оценивания, математического моделирования и статистического анализа показала, что полученные гибридные нечеткие модели обеспечивают приемлемое качество ранней диагностики невротических расстройств у инженерно-технических работников различных специальностей, работающих в условиях различной напряженности труда.

Список литературы

1. Ломов Б. Ф. Основные проблемы инженерной психологии // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2022. Т. 7, № 1. С. 226–262 https://doi.org/10.38098/ipran.opwp_2022_22_1_011
2. 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>

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

4. 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>

5. Hybrid fuzzy logic modelling and software for ergonomics assessment of biotechnical systems / R. T. Al-Kasasbeh, M. S. Alshamasin, N. A. Korenevskiy, I. Maksim // International Journal of Computer Applications in Technology. 2019. Vol. 60, N 1. P. 12–26. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2019.099505>

6. Biotechnical monitoring system for determining person's health state in polluted environment using hybrid decisive rules / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, S. Filist, O. V. Shatalova, M. S. Alshamasin, A. A. Shaqadan // International Journal of Modelling, Identification and Control. 2019. Vol. 32, N 1. P. 10–22. <https://doi.org/10.1504/IJMIC.2019.101957>

7. Метод синтеза нечетких моделей и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников гальванических производств / Н. А. Корневский, И. Ю. Григоров, Т. Н. Говорухина, Р. А. Крупчатников // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 3. С. 163–169. <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.3.019>

8. Дифференциальная диагностика очаговой патологии поджелудочной железы по данным эндоскопической ультрасонографии на основе нечетких математических моделей / В. А. Белозеров, Н. А. Корневский, С. Н. Григорьев, В. В. Аксенов // Вестник новых медицинских технологий. 2021. Т. 28, № 4. С. 107–112. <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2021-4-107-112>

9. Корневский Н. А., Медников Д. А., Стародубцев В. В. Метод синтеза моделей прогнозирования и ранней диагностики профессиональных заболеваний работников локомотивных бригад // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2020. Т. 19, № 3. С. 140–154. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2020.19.3.018>

10. Корневский Н. А., Титова А. В. Метод синтеза нечетких моделей оценки влияния электромагнитных полей радиочастотного диапазона на состояние здоровья // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2020. Т. 10, № 2. С. 102–117.

11. Метод синтеза математических моделей оценки пожарной обстановки и состояния людей, находящихся в зоне пожара / Н. А. Корневский, М. В. Шевцов, Л. В. Стародубцева, Г. В. Сипливый // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 3. С. 142–159.

12. 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.

13. Оптимизация ведения пациентов, страдающих критической ишемией нижних конечностей с учетом риска развития гангрены / А. В. Быков, Н. А. Корневский, С. А. Пархоменко, И. И. Хрипина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2019. Т. 18, № 2. С. 38–44.

14. Белозеров В. А., Корневский Н. А., Коржук Н. Л. Диагностика патологии внепеченочных желчных протоков по данным эндоскопической ультрасонографии с использованием нечетких математических моделей // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 2. С. 149–164. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-2-149-164>

15. Прогнозирование возникновения и развития фатальных сосудистых осложнений при COVID-19 с использованием нечетких математических моделей / А. В. Быков, Н. А. Корневский, А. В. Винников, А. И. Безуглов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2022. Т. 12, № 1. С. 145–159. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-1-145-159>

16. Математические модели дифференциальной диагностики форм пиелонефрита для экспертных систем врачей-урологов / Н. А. Корневский, Г. В. Сипливый, Д. С. Родионов, Т. Н. Говорухина, В. В. Дмитриева // Медицинская техника. 2019. № 6 (318). С. 48–50.

17. Метод прогнозирования фатальных осложнений при развитии коронавирусной инфекции на фоне системной красной волчанки / А. В. Винников, А. В. Быков, Н. А. Корневский, Л. П. Лазурин, П. С. Азарова, Г. К. Усубалиева // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2021. Т. 20, № 2. С. 63–69. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.20.2.008>

18. Математическая модель нечеткого прогнозирования рецидивов инфаркта миокарда / С. П. Серегин, Н. А. Корневский, К. А. Истомина, Ю. А. Челебаева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 2 (31). С. 101–111.

19. 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.
20. 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. 2022. Т. 12, № 3. С. 80–86. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>
21. Метод и нечеткие модели оценки функциональных состояний оперативной памяти / А. Ю. Рыбаков, С. Н. Родионова, К. В. Разумова, Н. А. Милостная, Н. Л. Коржук // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С. 106–125. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-106-125>
22. Родионова С. Н. Метод оценки неспецифической защиты организма человека по показателям, характеризующим процессы адаптации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 4. С. 175–192. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-4-175-192>
23. Оценка защитных функций организма и его систем по показателям функционального состояния и функционального резерва / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, К. В. Разумова, О. Ю. Лукаш // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2023. Т. 13, № 3. С. 67–77. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.22.3.009>

References

1. Lomov B.F. The main problems of engineering psychology. Institut psihologii Rossijskoj akademii nauk. *Organizacionnaya psihologiya i psihologiya truda = Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Labor Psychology*. 2022;7(1):226–262. (In Russ.) https://doi.org/10.38098/ipran.opwp_2022_22_1_011
2. Govorukhina T.N., Myasoedova M.A., Grigorov I.Yu., Polyakov A.V. Mathematical models for forecasting and early diagnostics of nervous system diseases caused by combined effects of heterogeneous risk factors. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskix sistemax = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2019;18(2):110–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.2.022>
3. Korenevsky 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.)

4. Myasoedova M.A., Korenevsky N.A., Starodubtseva L.V., Pisarev M.V. Mathematical models for assessing the influence of electromagnetic fields on the emergence 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>
5. Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M.S., Korenevskiy N.A., Maksim I. Hybrid fuzzy logic modelling and software for ergonomics assessment of biotechnical systems. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2019;60(1):12–26. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2019.099505>
6. Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N., Filist S., Shatalova O.V., Alshamasin M.S., Shaqadan A.A. Biotechnical monitoring system for determining person's health state in polluted environment using hybrid decisive rules. *International Journal of Modelling, Identification and Control*. 2019;32(1):10–22. <https://doi.org/10.1504/IJMIC.2019.101957>
7. Korenevsky N.A., Grigorov I.Yu., Govorukhina T.N., Krupchatnikov R.A. Method of synthesis of fuzzy models and early diagnosis of occupational diseases of workers in galvanic industries. *Sistemny`j analiz i upravlenie v biomedicinskix sistemax = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2019;18(3):163–169. (In Russ.) <https://doi.org/10.25987/VSTU.2019.18.3.019>
8. Belozarov V.A., Korenevsky N.A., Grigoriev S.N., Aksenov V.V. Differential diagnostics of focal pathology of the pancreas according to endoscopic ultrasonography data based on fuzzy mathematical models. *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij = Bulletin of New Medical Technologies*. 2021;28(4):107–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1609-2163-2021-4-107-112>
9. Korenevsky N.A., Mednikov D.A., Starodubtsev V.V. Method for synthesizing models for predicting and early diagnostics of occupational diseases of locomotive crew workers. *Sistemny`j analiz i upravlenie v biomedicinskix sistemax = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems*. 2020;19(3):140–154. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2020.19.3.018>
10. Korenevsky N.A., Titova A.V. Method for synthesizing fuzzy models for assessing the impact of electromagnetic fields of the radio frequency range on health. *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*. 2020;10(2):102–117. (In Russ.)
11. Korenevsky N.A., Shevtsov M.V., Starodubtseva L.V., Siplivyy G.V. Method for synthesizing mathematical models for assessing a fire situation and the condition of people in the fire zone. *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. 2021;11(3):142–159. (In Russ.)

12. Korenevsky 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. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering. 2021;11(2):120–137. (In Russ.)*

13. Bykov A.V., Korenevsky N.A., Parkhomenko S.A., Khripina I.I. Optimization of management of patients suffering from critical lower limb ischemia taking into account the risk of gangrene development. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika = Cardiovascular Therapy and Prevention. 2019;18(2):38–44. (In Russ.)*

14. Belozеров V.A., Korenevsky N.A., Korzhuk N.L. Diagnostics of extrahepatic bile duct pathology based on endoscopic ultrasonography data using fuzzy mathematical models. *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. 2022;12(2):149–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-2-149-164>*

15. Bykov A.V., Korenevsky N.A., Vinnikov A.V., Bezuglov A.I. Forecasting the occurrence and development of fatal vascular complications in COVID-19 using fuzzy mathematical models. *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. 2022;12(1):145–159. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-1-145-159>*

16. Korenevsky N.A., Siplivyy G.V., Rodionov D.S., Govorukhina T.N., Dmitrieva V.V. Mathematical models of differential diagnostics of pyelonephritis forms for expert systems of urologists. *Medicinskaya tekhnika = Medical Equipment. 2019;(6):48–50. (In Russ.)*

17. Vinnikov A.V., Bykov A.V., Korenevsky N.A., Lazurina L.P., Azarova P.S., Usabalieva G.K. Method for predicting fatal complications in the development of coronavirus infection against the background of systemic lupus erythematosus. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems. 2021;20(2):63–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.20.2.008>*

18. Seregin S.P., Korenevsky N.A., Istomina K.A., Chelebaeva Yu.A. Mathematical model of fuzzy forecasting of myocardial infarction recurrence. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika.*

Meditinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering. 2019;9(2):101–111. (In Russ.)

19. Bokeria L.A., Bykov A.V., Korenevsky N.A. Optimization of patient management with multicentric ischemic lesions based on fuzzy intelligent technologies. Stary Oskol: TNT; 2019. 400 p. (In Russ.)

20. Korenevsky N.A., Aksenov V.V., Rodionova S.N., Gontarev S.N., Lazurina L.P., Safonov R.I. Method of complex assessment of the information content level of classification features in conditions of fuzzy data structure. *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.* 2023;(3):80–96. (In Russ.)

21. Rybakov A.Y., Rodionova S.N., Razumova K.V., Milostnaya N.A., Korzhuk N.L. Method and fuzzy models for evaluating the functional states of RAM. *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.* 2024;14(2):106–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-106-125>

22. Rodionova S.N. Method for assessing non-specific protection of the human body based on indicators characterizing adaptation processes. *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.* 2023;13(4):175–192. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-4-175-192>

23. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Razumova K.V., Lukash O.Yu. Assessment of the protective functions of the body and its systems based on indicators of the functional state and functional reserve. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskix sistemax = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems.* 2023;13(3):67–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.36622/VSTU.2023.22.3.009>

Информация об авторах / Information about the Authors

Лукаш Олеся Юрьевна, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: Lukash.o@ya.ru

Olesya Y. Lukash, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: Lukash.o@ya.ru

Сафронов Руслан Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроэнергетики, Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: russafronov@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-5151-4711

Родионова Софья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: knsofia@mail.ru

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

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

Трусевич Алёна Александровна, студент кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alyona.04@list.ru, ORCID: 0009-0003-3734-9257

Ruslan I. Safronov, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electric Power Engineering, Kursk Agricultural University named after I. I. Ivanov, Kursk, Russian Federation, e-mail: russafronov@yandex.ru, ORCID: 0009-0004-5151-4711

Sofya 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

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

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

Alyona A. Trysevich, Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alyona.04@list.ru, ORCID: 0009-0003-3734-9257