

МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-160-180>



УДК 57.087

Метод синтеза моделей оценки состояния оперативной памяти операторов человеко-машинных систем на основе нечеткой логики принятия решений

Н. А. Корневский¹, А. Ю. Рыбаков¹, С. Н. Родионова¹✉, К. В. Разумова¹

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

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Резюме

Целью исследования является разработка метода синтеза моделей оценки состояния оперативной памяти операторов человеко-машинных систем, использование которого в решающих правилах прогнозирования и диагностики состояний оперативной памяти и её блоков обеспечивает повышение качества принимаемых решений.

Методы. Для контроля состояния различных блоков оперативной памяти выбран следующий набор методов: поиск сигнала в шуме; «опознание»; полное воспроизведение; определение отсутствующей цифры; объем памяти. Для выбора адекватного математического аппарата исследований был проведен разведочный анализ структуры обрабатываемых данных, в ходе которого было установлено, что выбранные классы состояний оперативной памяти имеют нечеткую природу с неопределенными границами их пересечений. С учетом особенности обрабатываемых данных выбранная методология была модифицирована путем разработки нового метода нечеткой оценки состояния оперативной памяти по характеристикам её свойств в сочетании с информативными признаками, характеризующими эргономику рабочего места, экологическую составляющую и индивидуальные факторы риска.

Результаты. В ходе проведенных исследований была синтезирована модель прогнозирования появления и развития нарушений функции оперативной памяти у операторов информационно насыщенных систем, отличающаяся использованием в качестве предикторов показателей, характеризующих состояние блоков оперативной памяти, позволяющая получать уверенность в правильном принятии решения не хуже 0,85.

Заключение. В ходе проведенных исследований было показано, что для улучшения показателей качества прогнозирования и диагностики состояний оперативной памяти и её блоков при синтезе соответствующих решающих правил следует учитывать показатели, характеризующие состояние блоков оперативной памяти, энергетический разбаланс БАТ, эргономические и индивидуальные факторы риска. При таком подходе в задачах прогнозирования достигается уверенность в правильном принятии решения не хуже 0,85. В задачах диагностики ранних стадий нарушений оперативной памяти у операторов информационно насыщенных систем уверенность в правильном принятии решения превышает величину 0,95.

© Корневский Н. А., Рыбаков А. Ю., Родионова С. Н., Разумова К. В., 2024

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024; 14(2): 160–180

Ключевые слова: оперативная память; человеко-машинные системы; прогнозирование; ранняя диагностика; функциональное состояние; функциональный резерв; 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: Метод синтеза моделей оценки состояния оперативной памяти операторов человеко-машинных систем на основе нечеткой логики принятия решений / Н. А. Корневский, А. Ю. Рыбаков, С. Н. Родионова, К. В. Разумова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 2. С. 160–180. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-160-180>

Поступила в редакцию 14.04.2024

Подписана в печать 06.05.2024

Опубликована 28.06.2024

Method for synthesis of models for assessing the state of ram memory of operators of human-machine systems based on fuzzy decision making logic

Nikolay A. Korenevsky¹, Anton Y. Rybakov¹, Sofia N. Rodionova¹✉, Ksenia V. Razumova¹

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

✉ e-mail: knsofia@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to develop a method for synthesizing models for assessing the state of RAM of operators of human-machine systems, the use of which in the decisive rules for predicting and diagnosing the states of RAM and its blocks ensures an increase in the quality of decisions made.

Methods. To monitor the state of various RAM blocks, the following set of techniques was selected: searching for a signal in noise; "identification"; full reproduction; identification of missing digits; Memory. To select an adequate mathematical research apparatus, an exploratory analysis of the structure of the processed data was carried out, during which it was found that the selected classes of RAM states are of a fuzzy nature with uncertain boundaries of their intersections. Taking into account the peculiarities of the processed data, the selected methodology was modified by developing a new method for fuzzy assessment of the state of RAM based on the characteristics of its properties in combination with informative features characterizing the ergonomics of the workplace, the environmental component and individual risk factors.

Results. In the course of the research, a model was synthesized for predicting the appearance and development of dysfunctions of RAM in operators of information-rich systems, characterized by the use of indicators characterizing the state of RAM blocks as predictors, which allows one to obtain confidence in the correct decision-making of no worse than 0,85.

Conclusion. In the course of the studies, it was shown that in order to improve the quality indicators of forecasting and diagnosing the states of RAM and its blocks, when synthesizing the corresponding decision rules, indicators characterizing the state of RAM blocks, energy imbalance of BAP, ergonomic and individual risk factors should be taken into account. With this approach, in forecasting problems, confidence in the correct decision-making is achieved at least 0,85. In the tasks of diagnosing the early stages of RAM disorders among operators of information-rich systems, confidence in correct decision-making exceeds 0,95.

Keywords: elastography; mammary gland; tissue; object; micromechanics; elastic modulus; tensor.

Funding: The work was carried out within the framework of the development program of the Southwest State University of the project "Priority – 2030".

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

For citation: Korenevsky N.A., Rybakov A.Y., Rodionova S.N., Razumova K.V. Analytical modeling of breast elastography. *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 Engineering*. 2024;14(2):160–180. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-2-160-180>

Received 14.04.2024

Accepted 06.05.2024

Published 28.06.2024

Введение

Исследованию влияния операторской деятельности на когнитивные функции человека, включая функцию памяти, а также вопросам оценки состояния этой функции у различных категорий людей посвящено достаточно много работ, например [1, с. 100; 2, с. 581; 3, с. 8; 4, с. 263]. Специалисты, занимающиеся проблематикой оценки состояния памяти, включая кратковременную и оперативную память, в своих работах [5, с. 242; 6, с. 56; 7, с. 44; 8, с. 53] отмечают, что одной из важнейших задач в этой области знаний и её практических приложений является прогнозирование, своевременное выявление и точная классификация состояний функций памяти, что позволяет обеспечить повышение надежности работы человеко-машинных систем, а также адекватную профилактику и коррекцию возникающих нарушений.

Для исследования функции памяти как одного из когнитивных процессов российские и иностранные ученые разработали довольно большое количество различных тестов и методик, реализованных в компьютерном и бумажном вариантах [9, с. 20–22; 10, с. 45–46; 11, с. 55]. В качестве основы большинства

этих методик используют анализ цифр, букв, слов, рисунков, звуковых стимулов, выполнение заданных действий в ответ на предъявляемые стимулы с расчетом времени реакции и правильности выполнения теста [12, с. 105; 13, с. 104; 14, с. 227].

При анализе известных методов и средств оценки показателей памяти [15, с. 73; 16, с. 265; 17, с. 57] было выявлено, что полученные данные достаточно редко и не всегда эффективно используются для прогнозирования и ранней диагностики состояния функций памяти, включая ее оперативную составляющую, что создает предпосылки для разработки новых и адекватных решаемым задачам методов и средств оценки состояния оперативной памяти, ориентируясь, прежде всего, на роль этого вида памяти в функционировании человеко-машинных систем, управляемых человеком-оператором. При выборе основного математического аппарата исследований мы исходили из того, что он должен соответствовать структуре обрабатываемых данных.

Проведенный разведочный анализ показал, что исследуемые классы состояний оперативной памяти имеют

нечеткую, плохоформализуемую природу с нечеткой зоной пересечений. Как показали многочисленные исследования, в этих условиях целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанную на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета. В качестве основного технического средства тестирования состояния оперативной памяти был выбран прибор контроля свойств функции внимания и памяти, хорошо зарекомендовавший себя при оценке состояний когнитивной функции внимания при решении задач со структурой данных, аналогичной решаемым в работе задачам.

Материалы и методы

На основе микроструктурного анализа деятельности операторов человеко-машинных систем в работе [18, с. 88–89] было показано, что для оценки состояния блоков оперативной памяти (ОП) и оперативной памяти в целом достаточно использовать методики поиска сигнала в шуме (ПСШ), опознания (ОП), полного воспроизведения (ПВВ), определения отсутствующей цифры (ООЦ). Анализ литературы и проведенные нами исследования показали, что значительной информативностью для решаемых в данной работе задач обладает такая характеристика оперативной памяти, как её объем (ОБП). Описание этих методик, условий и способов их выполнения, а также их реализации на планшетном компьютере приведено в работах [19,

с. 83; 20, с. 267; 21, с. 27; 22, с. 256–277]. Программное обеспечение планшетного компьютера, кроме описанных показателей, характеризующих состояние оперативной памяти, позволяет также исследовать такие свойства когнитивной функции внимания, как концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость, что позволяет учитывать совместное проявление этих двух когнитивных функций, повышая качество оценки функционального состояния и состояния здоровья операторов человеко-машинных систем. При интерпретации результатов исследований ОП и её блоков рекомендуется учитывать, что методика ПСШ нагружает операции сенсорного хранения, перекодирования и идентификации стимула, методика ОП нагружает блок хранения информации в кратковременной памяти, методика ПВВ инициирует активное удержание информации и организацию ответа. При этом авторы работы [18, с. 65–69] утверждают, что задействуются все блоки кратковременной памяти, методика ООЦ нагружает блоки, осуществляющие семантические преобразования на уровне взаимодействия кратковременной и долговременной памяти. Анализ реакции блоков ОП на различные типы нагрузок различными методиками позволяет, с одной стороны, оценивать индивидуальные особенности функционирования ОП, а с другой – исследовать влияние различных типов операторской деятельности на работоспособность ОП.

Оценка состояния блоков ОП на основании результатов использования выбранных методик S_j ($j = 1$ для методики оценки ВР, $j = 2$ для ПСШ, $j = 3$ для ОП, $j = 4$ для ПВВ, $j = 5$ для ООЦ, $j = 6$ для ОБП) осуществляется с использованием выражения вида

$$S_j = N T_{cp} / (N - C), \quad (1)$$

где N – число предъявленных серий; C – число ошибок испытуемого; T_{cp} – среднее время реакции испытуемого $\left(T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \right)$; t_i – время реакции в каждой отдельной серии.

Выбранная для решения задач синтеза решающих правил оценки состояния ОП методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) является представителем технологии мягких вычислений с базовым элементом, определяемым как функция принадлежности $\mu_{\omega_\ell}(x_i)$ к классам ω_ℓ с базовыми переменными, соответствующими существу решаемой задачи, которые агрегируются в соответствующие решающие правила в зависимости от структуры исследуемых классов состояний. Рекомендации по использованию МСГНРП для решения различных типов задач приведены в работах [22, с. 256; 23, с. 378]. Анализ возможностей МСГНРП для решения поставленных в работе задач показал, что для получения искомых решающих правил следует ввести ряд дополнений и рекомендаций, учитывающих структуру данных характерную для описания состояния

когнитивных функций [19, с. 90; 20, с. 268, 21, с. 5].

При разработке предлагаемого метода синтеза моделей оценки состояния оперативной памяти операторов человеко-машинных систем предполагается, что основную информацию о состоянии ОП формирует прибор для оценки внимания и памяти на основе планшетного компьютера (ПОВП), реализующий описанные выше методики. Заявляемый метод реализуется следующей основной последовательностью действий:

1. Формируется группа экспертов, специализирующихся в оценке состояния оперативной памяти. Организуется их подготовка в области исследования влияния операторской деятельности на когнитивные функции человека и синтеза гибридных нечетких решающих правил. Изучаются психофизические особенности операторской работы, на основании чего определяется алфавит классов состояний ω_ℓ (классы функциональных состояний, нарушений функций памяти, профессиональной пригодности, успешности деятельности и др.) и список свойств оперативной памяти, меняющихся под воздействием исследуемого производственного процесса. Определяется список показателей S_j , позволяющих оценивать исследуемые свойства ОП и решать задачи классификации.

2. С использованием метода нечеткой оценки состояния оперативной памяти по характеристикам её свойств для

выбранных классов состояний ω_ℓ определяется список информативных показателей S_j , для которых синтезируются функции принадлежности $\mu_\ell(S_j)$, характеризующие текущее состояние ОП по показателям S_j , определяемых по шкалам прибора ПОВП. С учетом нечеткой природы обрабатываемых данных выбор информативных признаков рекомендуется производить с использованием метода, описанного в работе [24]. В рамках МСГНРП предусмотрено несколько вариантов получения функций принадлежности: экспертный синтез по методу Дельфы при, возможно, полном отсутствии обучающих выборок; с использованием независимых тестов, для которых достоверно устанавливается наличие классов ω_ℓ ; по репрезентативным обучающим выборкам. Если полученные функции принадлежности для методик с идентификатором j используются для синтеза нечетких решающих правил интегральной оценки уверенности US_ℓ в ω_ℓ по нескольким шкалам S_j , то соответствующие функции агрегации выбираются с учетом общих рекомендаций МСГНРП.

Если добавление функций принадлежности $\mu_\ell(S_j)$ для отобранных информативных показателей S_j увеличивает значение оценки уровня соответствия классу ω_ℓ , то выбирается агрегатор типа

$$US_\ell(j+1) = US_\ell(j) + \mu_\ell(S_{j+1})[1 - US_\ell(j)]. \quad (2)$$

Если эксперты считают, что оценка уровня соответствия классу ω_ℓ должна осуществляться по показателю с максимальным значением $\mu_\ell(S_j)$, например, по звену имеющему наилучшие показатели, то выбирается агрегатор типа

$$US_\ell = \max_j [\mu_\ell(S_j)]. \quad (3)$$

Если оценка уровня соответствия классу ω_ℓ осуществляется по той характеристике оперативной памяти, которое на момент регистрации имеет минимальное значение функции принадлежности, например, по самому слабому «звену», то выбирается агрегатор типа

$$US_\ell = \min_j [\mu_\ell(S_j)]. \quad (4)$$

Если эксперты считают, что характеристики оперативной памяти, включенные в интегральную оценку уровня соответствия классу ω_ℓ , вносят различный «вклад» в показатель US_ℓ , то рекомендуется использовать агрегатор типа

$$US_\ell = \frac{\sum_{j=1}^N \alpha_j \cdot \mu_\ell(S_j)}{\sum_{j=1}^N \alpha_j}, \quad (5)$$

где α_j – весовые коэффициенты, определяемые экспертами с учетом информативности показателей S_j и (или) типов решаемых задач.

3. Если эксперты принимают решение для повышения точности принятия решений использовать электрические характеристики биологически активных

точек (БАТ), то при оценке состояния ОП синтезируются модели вида

$$UB_{\ell} = \mu_{\ell}(ER_{II}), \quad (6)$$

где UB_{ℓ} – уверенность в том, что состояние ОП определяется как класс ω_{ℓ} по величине энергетического разбаланса ER_{II} БАТ, «связанных» с памятью (точки C3, C7). Для этих точек величину энергетического разбаланса рекомендуется определять по отклонению электрических сопротивлений БАТ от их номинальных значений δR_j :

$$ER_{II} = \frac{[\mu_{\mathcal{E}P}(\delta R_{C3}) + \mu_{\mathcal{E}P}(\delta R_{C7})]}{2},$$

где

$$\begin{aligned} \mu_{\mathcal{E}P}(\delta R_{C3}) &= \\ &= \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{C3} < 15\%, \\ 0,009\delta R_{C3} - 0,135, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C3} < 80\%, \\ 0,6, & \text{если } \delta R_{C3} \geq 80\%, \end{cases} \\ \mu_{\mathcal{E}P}(\delta R_{C7}) &= \\ &= \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{C7} < 15\%, \\ 0,018\delta R_{C7} - 0,27, & \text{если } 15\% \leq \delta R_{C7} < 70\%, \\ 1,0, & \text{если } \delta R_{C7} \geq 70\%. \end{cases} \end{aligned}$$

Если электрические характеристики БАТ используются для оценки таких факторов риска расстройств ОП, как психоэмоциональное перенапряжение и умственное переутомление, то энергетический разбаланс определяется для точек, «связанных» с этими функциональными состояниями. Если принимается решение использовать БАТ для оценки индивидуальных факторов риска от патологии других органов и систем, имеющих представительство на биологически

активных точках, решается задача синтеза гибридных нечетких решающих правил с использованием методов, описанных в работе [22, с. 375–401].

4. При синтезе решающих правил по данным с ПОВП следует иметь в виду, что получаемые значения информативных признаков отражают текущие (мгновенные) значения измеряемых свойств оперативной памяти и по этим значениям нельзя достоверно утверждать о наличии психоэмоционального перенапряжения, переутомления или о патологических процессах, происходящих в оперативной памяти. Для увеличения доверия к принимаемым решениям о длительно развивающихся процессах, в зависимости от медико-технологических возможностей, рекомендуется один из трех способов синтеза решающих правил.

Первый способ основан на слежении достаточно длительное время за показателями, характеризующими состояние ОП, для которых $\mu_{\ell}(S_j)$ больше выбранного экспертами порога. В этом варианте эксперты задают интервалы времени наблюдения ΔT_{sj} и количество этих интервалов m , определяющее общее время наблюдений. В конце каждого интервала времени с номером k производится измерение значений S_{jk} и далее вычисляется среднее значение анализируемого показателя:

$$S_{cj} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_{jk}.$$

Уточненные значения уверенностей в отнесении обследуемых к классу ω_ℓ определяются по функциям принадлежности, получаемым аналогично п. 2, в которых параметр S_j заменяется на соответствующее среднее значение S_{cj} с расчетом уверенности в ω_ℓ по усредненным значениям UWC_ℓ и аналогично US_ℓ с применением агрегирующих формул (2) – (5).

Второй способ основывается на введении временных поправочных функций $f_{\ell sj}(t)$, учитывающих, сколько времени «удерживается» исследуемый показатель S_j в классе состояний ω_ℓ . Уверенность $UWT_{\ell sj}$ в принимаемом решении по классу ω_ℓ для показателя S_j определяется выражением

$$UWT_{\ell sj} = \mu_{\ell}(Z_\ell), \quad (7)$$

где $Z_\ell = \mu_\ell(S_j) \cdot f_{\ell sj}(t)$.

В другом варианте:

$$UWT_{\ell sj} = F_{UT}[\mu_\ell(S_j), f_{\ell sj}(t)], \quad (8)$$

где F_{UT} – функция агрегации, которая во многих практических применениях определяется накопительной модифицированной функцией Е. Шортлифа. Агрегация составляющих $UWT_{\ell sj}$ в интегральное решающее правило осуществляется аналогично (2) – (5).

Третий способ базируется на использовании нечетких таблиц, по строкам которых записываются выбранные экспертами интервалы ΔS_j или ΔS_{cj} , а

по столбцам – с нарастающим итогом интервалы времени нахождения исследуемых показателей в пределах выбранных интервалов. Элементами таблицы являются частные уверенности $UWT_{\ell sj}(p, q)$ (p, q – номера строк и столбцов матрицы) отнесения исследуемого объекта к классу ω_ℓ для выбранных интервалов значений параметров и времен. Если в течение времени наблюдения интервал ΔS_{cj} не изменяется, то уверенность $UWT_{\ell sj}$ в принимаемом решении по классу ω_ℓ для показателя S_j определяется выбранной из таблицы частной уверенностью:

$$UWT_{\ell sj} = UWT_{\ell sj}(p, q). \quad (9)$$

Если в течение времени наблюдения интервалы ΔS_{cj} изменяются, то для каждого интервала с учетом времени его «удержания» выбирается «своя» частная уверенность, которые агрегируются в соответствующее решающее правило вида

$$UWT_{\ell sj} = AG_{UTP}[UWT_{\ell sj}(p, q)], \quad (10)$$

где AG_{UTP} – агрегатор частных уверенностей по столбцам матрицы.

Если полученные оценки уверенностей для методик с идентификатором j используются для синтеза нечетких решающих правил интегральной оценки уверенности UW_ℓ в ω_ℓ по нескольким шкалам S_j , то соответствующие функции агрегации выбираются по тем же правилам, что и для моделей (2) – (5).

5. Если эксперты принимают решение для повышения точности принятия решений использовать функциональный резерв оперативной памяти и показателей, характеризующих её состояние, то реализуется следующая последовательность действий.

На экспертном уровне определяются время наблюдения T_H , которого, по мнению экспертов, достаточно для создания нагрузки, требуемой для оценки величины функционального резерва FR_j по показателю с идентификатором j , и количество тестовых последовательностей m , после реализации которых определяется числовая характеристика S_j , которая, по мнению экспертов, характеризует функциональное состояние FS_{Oj} до нагрузки. Первые пять тестовых последовательностей считаются тренировочными и в расчет не берутся.

Предъявление шестой тестовой последовательности начинает отсчет времени наблюдения T_H . По последующим m тестовым последовательностям определяют величину первого измерения S_j , далее поочередно убирается один начальный результат измерений и добавляется один последующий результат (скольжение вдоль результатов измерений на единицу). Получаем последовательные цепочки чисел, последнее из которых по истечении времени T_H определяется как функциональное состояние FS_{Hj} после нагрузки.

Функциональный резерв FR_j определяется по двум показателям: отношением ON_j уровня ФС до воздействия нагрузкой и после воздействия и скоростного VV_j восстановления уровня ФС:

$$ON_j = \frac{FS_{Oj}}{FS_{Hj}},$$

$$VV_j = \frac{(FS_{Oj} - FS_{Hj})}{T_H}.$$

По показателям ON_j и VV_j определяются частные функции уровня функционального резерва $f_j(ON_j)$ и $f_j(VV_j)$, по которым рассчитывается функциональный резерв FR_j выбранного показателя с идентификатором j :

$$FR_j = AG_{FRj} [f_j(ON_j), f_j(VV_j)], \quad (11)$$

где AG_{FRj} – функция агрегации для функционального резерва показателя с идентификатором j .

Функциональный резерв всей ОП определяется агрегацией соответствующих составляющих:

$$FR_{ОП} = AGFR_j (FR_j), \quad (12)$$

где $AGFR_j$ – функция агрегации для всех составляющих функционального резерва ОП.

Переход от показателей, характеризующих уровень функционального резерва ОП к оценке уверенности, в том, что исследуемые показатели или оперативная память в целом находятся в состоянии ω_ℓ , осуществляются через

соответствующие функции принадлежности и их агрегацию:

$$UWF_{\ell j} = \mu_{\ell}(FR_j), \quad (13)$$

$$UWF_{\ell} = AG_{WF}(UWF_{\ell j}), \quad (14)$$

где $UWF_{\ell j}$ – уверенность в ω_{ℓ} по уровню функционального резерва для показателя S_j ; UWF_{ℓ} – уверенность в ω_{ℓ} по уровню функционального резерва всей ОП; AG_{WF} – функция агрегации для составляющих с идентификаторами j .

6. При наличии медико-технологических возможностей формируются индивидуальные, экологические и эргономические факторы риска, для которых в соответствии с рекомендациями МСГНРП синтезируются частные решающие правила появления риска появления и развития нарушений функций оперативной памяти.

7. Частные решающие правила, полученные в пунктах 3–6, проверяются на информативность относительно анализируемых классов состояний ω_{ℓ} , и по выбранным информативным показателям с использованием общих рекомендаций МСГНРП осуществляется синтез искомых решающих правил следующего вида:

$$\text{ЕСЛИ}(UFOP_{\Pi} < UFOP_{\Pi}^{\Pi}) \text{ТО}(R = \text{БП}), \quad (15)$$

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ}\left[\left(UFOP_{\Pi} \geq UFOP_{\Pi}^{\Pi}\right) \text{И} \right. \\ &\left. \left(FR_{\Pi}^{\Pi} \leq FR_{\text{ОП}} < FR_{\text{БП}}^{\Pi}\right)\right] \text{ТО}(R = \Pi), \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ}\left[\left(UFP_{\Pi} \geq UFP_{\Pi}^{\Pi}\right) \text{И} \right. \\ &\left. \left(FR_{\text{РД}}^{\Pi} \leq FR_{\text{ОП}} < FR_{\Pi}^{\Pi}\right)\right] \text{ТО}(R = \text{РД}), \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ}\left[\left(UFP_{\Pi} \geq UFP_{\Pi}^{\Pi}\right) \text{И} \right. \\ &\left. \left(FD_{\text{ОП}} \geq FR_{\text{РД}}^{\Pi}\right)\right] \text{ТО}(R = \text{ДО}), \quad (18) \end{aligned}$$

где $UFOP_{\Pi}$ – уверенность в появлении и развитии расстройств оперативной памяти; $UFOP_{\Pi}^{\Pi}$ – порог принятия решений по показателям $UFOP_{\Pi}$; R – принимаемое решение с уверенностью $UFOP_{\Pi}$; БП – без патологии; П – прогноз; РД – ранняя стадия заболевания; ДО – направить на дообследование; $FR_{\text{БП}}^{\Pi}$, FR_{Π}^{Π} , $FR_{\text{РД}}^{\Pi}$ – пороги функционального резерва для классов БП, П и РД соответственно.

Результаты и их обсуждение

С использованием предложенного метода решалась задача прогнозирования появления и развития нарушений в работе оперативной памяти у операторов ЭВМ. При этом учитывалось, что наилучшее качество принимаемых решений обеспечивается, если в решающих правилах прогнозирования будут использованы информативные признаки, описывающие эргономику рабочих мест, экологическую компоненту, присутствующую в окружении обследуемых, индивидуальные факторы риска и индивидуальные особенности организма.

При получении частных моделей оценки риска появления и развития расстройств оперативной памяти мы исходили из того, что развитие расстройств функций оперативной памяти носит индивидуальный характер. У ряда операторов информационно-насыщенных систем одних и тех же профессий нарушений не только не наблюдается за все время операторской деятельности, а в ряде случаев наблюдается улучшение характеристик работы отдельных или даже всех блоков ОП. В то же время у определенного контингента операторов с течением времени наблюдается ухудшение исследуемых показателей вплоть до развития патологического процесса. Проведенные нами исследования показали, что при всех описанных вариантах развития событий ПОВП является достаточно надежным индикатором оценки текущего состояния блоков ОП.

Учитывая, что на выбранные для оценки состояния ОП показатели оказывают влияние различные факторы (по крайней мере, ПЭН, утомление, патология ОП) при решении задач прогнозирования патологии ОП, аналогично задачам прогнозирования патологии когнитивной функции внимания, будем придерживаться следующей тактики. На первом этапе исследований решалась задача получения функций принадлежности к классам нормы ω_H и отклонения от нормы ω_O $\mu_H(S)$ и $\mu_O(S)$ по шкалам

параметров, характеризующих состояние памяти, первичное классификационное решение. Вычисление значений $\mu_H(S)$ позволяет реализовывать следующую классификационную схему. Если для всех S_j $\mu_H(S_j) = 1$, то принимается решение о нормальном состоянии всех блоков ОП и решение заканчивается. В противном случае решается задача предварительной оценки возможных причин отклонения от нормы, для чего доступными методами устанавливаются возможные варианты измененных функциональных состояний ПЭН, утомление, стресс, монотония, активация и др.

При установлении отсутствия измененных функциональных состояний для тех S_j , для которых $\mu_H(S_j) < 1$, решаются задачи отнесения обследуемого к такому возможному набору классов, как: риск появления и развития расстройств блоков ОП (ω_P), легкое когнитивное нарушение (ω_L); умеренное когнитивное нарушение (ω_Y), начальная клиническая стадия (ω_K).

С учетом того, что методика полного воспроизведения по данным работы [18] нагружает все блоки ОП, в данной работе для прогнозирования состояний исследуемой когнитивной функции выбрана эта методика. Для неё определена соответствующая функция принадлежности:

$$\mu_H(\text{ПВВ}) = \begin{cases} 1, & \text{если ПВВ} < 1000, \\ 1 - 0,000008(\text{ПВВ} - 1000)^2, & \text{если } 1000 \leq \text{ПВВ} < 1250, \\ 0,000008(\text{ПВВ} - 1500)^2, & \text{если } 1250 \leq \text{ПВВ} < 1500, \\ 0, & \text{если ПВВ} \geq 1500. \end{cases}$$

Для повышения надежности принимаемых решений, в качестве прогностического решающего правила была выбрана модель (8).

Ориентиром для выбора формы и параметров функций принадлежности

$\mu_\ell(S_j) = \mu_\Pi(S_j)$ для модели (8) послужили гистограммы распределения классов (ω_H) , (ω_Π) и (ω_L) , полученные в ходе разведочного анализа на шкале ПВВ (рис. 1).

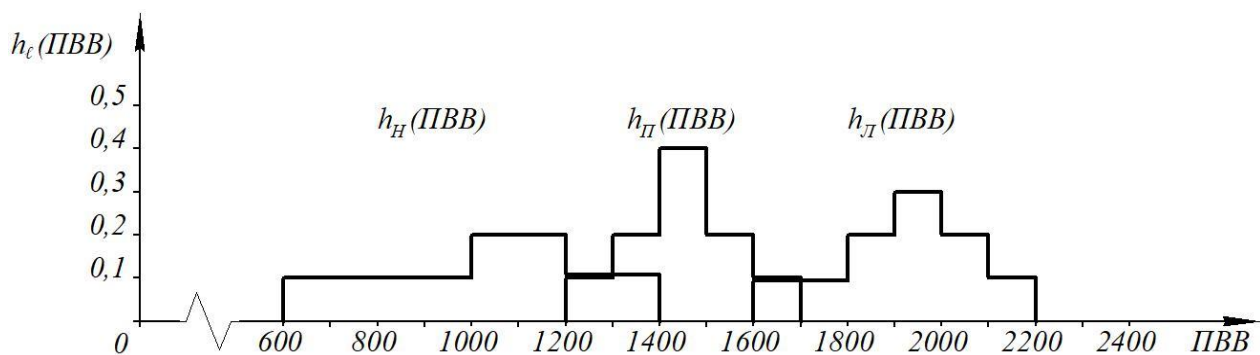


Рис. 1. Гистограммы распределения классов (ω_H) , (ω_Π) , и (ω_L) на шкале ПВВ

Fig. 1. Histograms of the distribution of classes (ω_H) , (ω_Π) , and (ω_L) , and on the FP scale

Анализ полученных гистограмм позволил экспертам построить обобщенные графики функций принадлежности

к классам (ω_H) , (ω_Π) и (ω_L) , параметры которых определяются используемой базовой переменной (рис. 2).

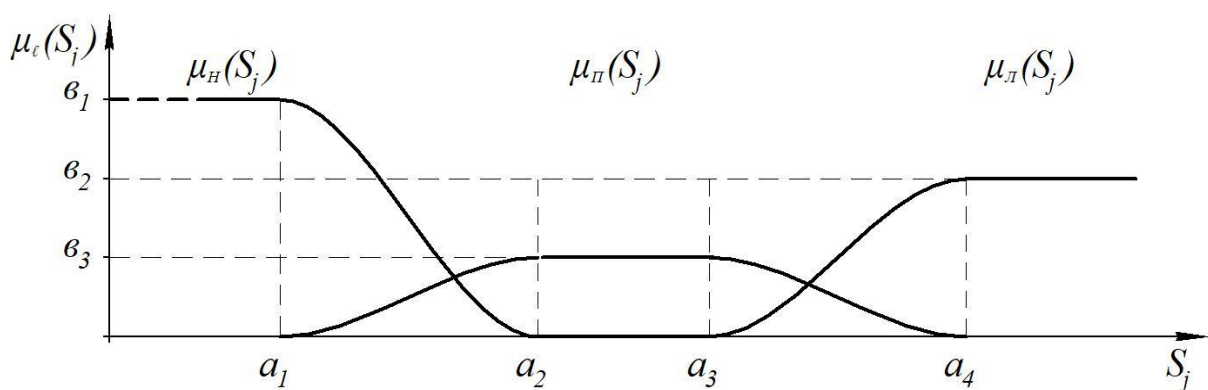


Рис. 2. Обобщенные графики функций принадлежности к классам (ω_H) , (ω_Π) , и (ω_L) с базовыми переменными S_j

Fig. 2. Generalized graphs of class membership functions (ω_H) , (ω_Π) , and (ω_L) , with basic variables S_j

Для базовой переменной ПВВ к классу риск появления и развития расстройств блоков ОП (ω_{Π}) соответству-

ющая функция принадлежности имеет вид

$$\mu_{\Pi}(\text{ПВВ}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \text{ПВВ} \leq 1200, \\ 0,0000133(\text{ПВВ} - 1200)^2, & \text{если } 1200 \leq \text{ПВВ} < 1350, \\ 0,6 - 0,0000133(\text{ПВВ} - 1200)^2, & \text{если } 1350 \leq \text{ПВВ} < 1500, \\ 0,6, & \text{если } 1500 \leq \text{ПВВ} < 1600, \\ 0,6 - 0,0000133(\text{ПВВ} - 1600)^2, & \text{если } 1600 \leq \text{ПВВ} < 1750, \\ 0,0000133(\text{ПВВ} - 1900)^2, & \text{если } 1750 \leq \text{ПВВ} < 1900, \\ 0, & \text{если } \text{ПВВ} \geq 1900. \end{cases}$$

Для операторов ЭВМ экспертами получен график временных поправочных функций, описываемый выражением:

$$f_{\Pi S_j}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t \leq 3, \\ 0,028(t-3)^2, & \text{если } 3 \leq t < 6,5, \\ 0,7 - 0,028(t-10), & \text{если } 6,5 \leq S_j < 10, \\ 0,7, & \text{если } t \geq 10. \end{cases}$$

Уверенность в том, что со временем у обследуемого появится расстройство функций памяти по показателю S_j , определяется по формуле

$$UW_{\text{ПВВ}} = \mu_{\Pi}(\text{ПВВ}) + f_{\Pi S_j}(t) - \mu_{\Pi}(\text{ПВВ}) \cdot f_{\Pi S_j}(t). \quad (19)$$

Уверенность в том, что со временем у обследуемого появится расстройство функций памяти $UWTP$ по показателю ПВВ, определяется по формуле

$$UWTP = UW_{\text{ПВВ}}. \quad (20)$$

По эргономическим факторам риска (уровень хронического психоэмоцио-

нального напряжения YP_D и умственного переутомления YU_D) эксперты решили использовать те же модели, что и в прогностических моделях для когнитивной функции внимания [19, с. 86; 20, с. 28; 21, с. 6; 22 с. 185]. В этих работах уверенность в классе ω_{Π} по эргономическим факторам риска определяется выражением

$$UEP = \mu_{\Pi}(YP_D) + \mu_{\Pi}(YU_D) - \mu_{\Pi}(YP_D) \cdot \mu_{\Pi}(YU_D), \quad (21)$$

где

$$\mu_{\Pi}(YP_D) = \begin{cases} 0, & \text{если } YP_D < 0,2, \\ YP_D - 0,2, & \text{если } 0,2 \leq YP_D < 0,6, \\ 0,4, & \text{если } YP_D \geq 0,6; \end{cases}$$

$$\mu_{\Pi}(YU_D) = \begin{cases} 0, & \text{если } YU_D < 0,3, \\ YU_D - 0,15, & \text{если } 0,3 \leq YU_D < 0,8, \\ 0,25, & \text{если } YU_D \geq 0,8. \end{cases}$$

По блоку признаков, характеризующих индивидуальные факторы риска

(образ жизни и индивидуальное состояние здоровья), с учетом рекомендаций [22], уверенность в классе ω_{Π} UIP определяется соответствующей функцией принадлежности:

$$UIP = \mu_{\Pi}(B), \quad (22)$$

где

$$\mu_{\Pi}(B) = \begin{cases} 0, & \text{если } B = 1, \\ 0,022(B-1)^2, & \text{если } 1 < B \leq 4, \\ 0,4 - 0,022(B-7)^2, & \text{если } 4 < B \leq 7, \\ 0,4, & \text{если } B > 7. \end{cases}$$

Базовая переменная определяется как сумма двоичных переменных опросника индивидуальных факторов риска, сформированного следующим образом:

- стрессы вне работы (b_1);
- умственное перенапряжение, не связанное с операторской деятельностью (b_2);
- эмоциональное перенапряжение, не связанное с операторской деятельностью (b_3);
- депрессии, связанные с психологическим климатом вне работы (b_4);
- несбалансированное питание (b_5);
- хронические недосыпы (b_6);
- авитаминоз, в частности дефицит витамина В-12 (b_7);
- соматические нарушения, влияющие на состояние памяти (b_8);
- алкогольная и наркотическая зависимость (b_9);
- злоупотребление вредной пищей, содержащей большое количество красителей, особенно с алюминием (b_{10});

– злоупотребление кофеиносодержащими напитками (b_{11});

– психические расстройства, такие как шизофрения или эпилепсия (b_{12});

– умственная отсталость, вызванная вследствие тяжелой беременности, родов и наследственностью (b_{13});

– употребление препаратов, имеющих побочные действия в виде когнитивных расстройств (транквилизаторы, седативные и антигистаминные препараты, нейролептики, антидепрессанты и др.) (b_{14});

– черепно-мозговые травмы (b_{15}).

Переменная b_i определяется как двоичная переменная: $b_i = 1$ при наличии i -го фактора риска; $b_i = 0$ – при его отсутствии. Базовая переменная B функции принадлежности для формулы (22) определяется выражением

$$B = \sum_{i=1}^{15} b_i.$$

Дополнительным достаточно надежным индикатором оценки влияния операторской деятельности на состояние ОП является энергетический разбаланс БАТ, связанных с памятью (пункт 3 предлагаемого метода). Для этой группы признаков получена функция принадлежности к лингвистической переменной «высокий риск появления и развития нарушений функции памяти» по величине энергетического разбаланса БАТ, которая определяет дополнительную частную уверенность в прогнозе появления и развития нарушений функций памяти (UPP):

$$UPP = \mu_{\Pi\Pi}(ER_{\Pi}), \quad (23)$$

где

$$\mu_{\Pi\Pi}(ER_{\Pi}) = \begin{cases} 0, & \text{если } ER_{\Pi} < 0,1, \\ 4,8(ER_{\Pi} - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq ER_{\Pi} < 0,35, \\ 0,6 - 4,8(ER_{\Pi} - 0,6)^2, & \text{если } 0,35 \leq ER_{\Pi} < 0,6, \\ 0,6, & \text{если } ER_{\Pi} \geq 0,6. \end{cases}$$

Полученные частные модели с учетом общих рекомендаций МСГНРП агрегируются в финальную модель оценки уверенности в появлении и развития и расстройств блоков ОП:

$$UW_{\Pi}(q+1) = UW_{\Pi}(q) + Q_{q+1}[1 - UW_{\Pi}(q)]. \quad (24)$$

где $UW_{\Pi}(1) = Q_1 = UWTP$; $Q_2 = UEP$; $Q_3 = UIP$; $Q_4 = UPP$.

Экспертная оценка полученного решающего правила, проводимая по методике, описанной в работах [22, с. 401; 24, с. 91], показала уровень доверия к модели (24) на уровне 0,89. В ходе математического моделирования, проводимого по исходным данным, сформированным экспертами, была получена уверенность на уровне 0,91, что является хорошим результатом для задач прогнозирования с нечетким представлением данных.

Аналогично была получена модель диагностики ранних стадий нарушений

оперативной памяти у операторов информационно насыщенных систем, отличающаяся использованием в качестве блоков информативных признаков показателей, характеризующих состояние различных элементов оперативной памяти, эргономические и индивидуальные факторы риска, величину функционального резерва ОП и энергетический разбаланс БАТ, позволяющая получать уверенность в правильном принятии решения не хуже 0,95.

Выводы

В ходе проведенных исследований было показано, что для улучшения показателей качества прогнозирования и диагностики состояний оперативной памяти и её блоков при синтезе соответствующих решающих правил следует учитывать показатели, характеризующие состояние блоков оперативной памяти, энергетический разбаланс БАТ, эргономические и индивидуальные факторы риска. При таком подходе в задачах прогнозирования достигается уверенность в правильном принятии решения не хуже 0,85. В задачах диагностики ранних стадий нарушений оперативной памяти у операторов информационно насыщенных систем уверенность в правильном принятии решения превышает величину 0,95.

Список литературы

1. Рябова М. А. Показатели психофизиологического состояния и когнитивных функций у жителей-северян пожилого возраста // Приложение международного

научного журнала «Вестник психофизиологии». 2022. № 4. С. 99–102. <https://doi.org/10.34985/o6320-0588-8573-y>

2. Применение инструментов дискретной оптимизации для классификации когнитивного дефицита: особенности использования минимаксного и аддитивного критериев / Ю. А. Мезенцев, О. М. Разумникова, П. С. Павлов, И. В. Тарасова, О. А. Трубникова // Программные продукты и системы. 2021. № 4. С. 579–588. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.136.579-588>

3. Контроль когнитивных функций методами спектрофотометрии и вызванных потенциалов / Л. П. Сафонова, А. Н. Дмитриев, В. С. Ширяева, Д. Ю. Кулешов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2022. Т. 25, № 6. С. 5–17. <https://doi.org/10.18127/j15604136-202206-01>

4. Макаренко Н., Барчукова Г. В. Влияние когнитивных способностей на уровень технико-тактического мастерства спортсменов, занимающихся настольным теннисом // Спортивно-педагогическое образование. 2022. № 3. С. 38–43.

5. Когнитивные расстройства у пациентов умственного труда с хронической ишемией головного мозга, их профессиональная дезадаптация и выгорание / М. А. Трещинская, В. Д. Мишиев, Л. Н. Сулий, М. В. Глоба // Психиатрия, психотерапия и клиническая психология. 2019. Т. 10, № 2. С. 241–250.

6. Ахапкин Р. В., Файзуллоев А. З. Структура когнитивных нарушений у больных с непсихотическими депрессивными расстройствами // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2020. № 3. С. 54–64.

7. Воздействие физических упражнений на когнитивные способности студентов / Н. Е. Курочкина, Д. Е. Борисова, Т. И. Олейникова, А. Е. Гришина, Е. В. Кожина // OlymPlus. Гуманитарная версия. 2021. № 2 (13). С. 43–46.

8. Послеоперационные когнитивные нарушения: этиология, клинические проявления, подходы к диагностике / С. П. Бордовский, П. М. Крупенин, А. И. Розен [и др.] // Медицинский совет. 2021. № 19. С. 49–56.

9. Структура страхов у лиц пожилого возраста с умеренными когнитивными нарушениями / Т. Н. Резникова, Н. А. Селиверстова, Е. В. Савельев, Д. А. Федоряка // Психическое здоровье. 2019. № 1. С. 17–22. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2019.01.17-22>

10. Суханов А. В., Семаев С. Е., Максимов В. Н. Ассоциации отдельных параметров оперативной памяти с генотипами СОМТ в Западной Сибири // Медицинская генетика. 2019. Т. 18, № 6 (204). С. 43–49. <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2019.06.43-49>

11. Изменения коннективности головного мозга у больных с нарушениями вербальной оперативной памяти при дисциркуляторной энцефалопатии / В. Ф. Фокин, Н. В. Пономарева, Р. Н. Коновалов [и др.] // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2019. № 5. С. 56–62. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2019.061>

12. Влияние сертралина на когнитивные, психомоторные и личностно-поведенческие показатели при терапии депрессии (клинический случай) / Т. И. Вазагаева,

Р. В. Ахапкин, А. О. Корендюхина [и др.] // Медицинский совет. 2019. № 21. С. 103–109. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-21-103-109>

13. Объем краткосрочной памяти у пациентов в позднем восстановительном периоде ишемического инсульта / А. А. Кузюкова, А. П. Рачин, О. И. Одарущенко [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 104–105. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

14. Ломов Б. Ф. Основные проблемы инженерной психологии // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2022. Т. 7, № 1. С. 226–262.

15. Брумштейн Ю. М., Молимонов Д. А. Математические модели и методы решения задач информационного обеспечения, управления и оценки качества работы операторов в сложных человеко-машинных системах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 3. С. 73–89. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2019-3-73-89>

16. Фешин Б. Н. Оператор-диспетчер в интегрированных системах управления. Информационно-психологическая подготовка // Автоматика. Информатика. 2020. № 2. С. 31–35.

17. Перспективные немедикаментозные технологии оптимизации психофизиологических качеств и работоспособности операторов / А. Ю. Ерошенко, С. М. Грошинин, С. Э. Бугаян, Л. Г. Анистратенко // Морская медицина. 2019. Т. 5, № 2. С. 55–62. <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2019-5-2-55-62>

18. Шуткин А. Н. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний, провоцируемых длительными умственными нагрузками // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15, № 2. С. 320–325.

19. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций / Н. А. Корневский, А. В. Поляков, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2019. Т. 18, № 4. С. 85–92. <https://doi.org/10.25987/VSTU.2020.18.4.011>

20. An expert system for assessment of the state of cognitive functions using a fuzzy hybrid knowledge base / N. A. Korenevskiy, S. N. Rodionova, V. V. Aksenov, N. L. Korzhuk // Biomedical Engineering. 2021. Vol. 55, N 4. P. 263–268.

21. Prediction of operators cognitive degradation and impairment using hybrid fuzzy modelling / N. A. Korenevskiy, Riad Taha Al-Kasasbeh, Fawaz Al-Shawawreh, Tareq Ahram, S. N. Rodionova, Mahdi Salman, S. A. Filist, M. Namazov, Shaqadan Ashraf, M. Ilyash // Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2022. Vol. 24, N 4. P. 1–26. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2022.2086645>

22. 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, 2020. 472 с.

23. 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.

24. 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. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>

References

1. Ryabova M.A. Indicators of psychophysiological state and cognitive functions in elderly northern residents. *Prilozhenie mezhdunarodnogo nauchnogo zhurnala «Vestnik psikhofiziologii» = Appendix of the International Scientific Journal «Bulletin of Psychophysiology»*. 2022;(4):99–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.34985/o6320-0588-8573-y>

2. Mezentsev Y.A., Razumnikova O.M., Pavlov P.S., Tarasova I.V., Trubnikova O.A. Application of discrete optimization tools for the classification of cognitive deficits: features of the use of minimax and additive criteria. *Programmnye produkty i sistemy = Software Products and Systems*. 2021;(4):579–588. (In Russ.) <https://doi.org/10.15827/0236-235X.136.579-588>

3. Safonova L.P., Dmitriev A.N., Shiryayeva V.S., Kuleshov D.Y. Monitoring cognitive functions using spectrophotometry and evoked potentials. *Biomeditsinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*. 2022;25(6):5–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.18127/j15604136-202206-01>

4. Makarenko N., Barchukova G.V. The influence of cognitive abilities on the level of technical and tactical mastery of table tennis athletes. *Sportivno-pedagogicheskoe obrazovanie = Sports and Pedagogical Education*. 2022;(3):38–43. (In Russ.)

5. Treshchinskaya M.A., Mishiev V.D., Sulii L.N., Globa M.V. Cognitive disorders in patients with mental work with chronic cerebral ischemia, their professional maladjustment and burnout. *Psikhiatriya, psikhoterapiya i klinicheskaya psikhologiya = Psychiatry, Psychotherapy and Clinical Psychology*. 2019;10(2):241–250. (In Russ.)

6. Akhapkin R.V., Faizullov A.Z. The structure of cognitive impairment in patients with non-psychotic depressive disorders. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskii vestnik = Psychiatry, Psychotherapy and Clinical Psychology*. 2020;(3):54–64. (In Russ.)

7. Kurochkina N.E. Borisova D.E., Oleynikova T.I., Grishina A.E., Kozhina E.V. The effects of physical exercise on students' cognitive abilities. *OlymPlus. Gumanitarnaya versiya = OlymPlus. Humanitarian Version*. 2021;(2):43–46. (In Russ.)

8. Bordovsky S.P., Krupenin P.M., Rosen A.I., et. al. Postoperative cognitive impairment: etiology, clinical manifestations, approaches to diagnosis. *Meditsinskii sovet = Medical Council*. 2021;(19):49–56. (In Russ.)
9. Reznikova T.N., Seliverstova N.A., Savel'ev E.V., Fedoryaka D.A. The structure of fears in elderly people with moderate cognitive impairment. *Psikhicheskoe zdorov'e = Mental Health*. 2019;(1):17–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2019.01.17-22>
10. Sukhanov A.V., Semaev S.E., Maksimov V.N. Associations of individual parameters of working memory with COMT genotypes in Western Siberia. *Meditsinskaya genetika = Medical Genetics*. 2019;18(6):43–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.25557/2073-7998.2019.06.43-49>
11. Fokin V.F., Ponomareva N.V., Konovalov R.N., et al. Changes in brain connectivity in patients with impaired verbal working memory in dyscirculatory encephalopathy. *Vestnik Rossiiskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Bulletin of Russian State Medical University*. 2019;(5):56–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2019.061>
12. Vazagaeva T.I., Akhapkin R.V., Korendyukhina A.O., et al. The effect of sertraline on cognitive, psychomotor and personal-behavioral indicators in the treatment of depression (clinical case). *Meditsinskii sovet = Medical Council*. 2019;(21):103–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-21-103-109>
13. Kuzyukova A.A., Rachin A.P., Odarushchenko O.I., et al. The volume of short-term memory in patients in the late recovery period of ischemic stroke. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury = Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy*. 2021;98(3-2):104–105 (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
14. Lomov B.F. Basic problems of engineering psychology. *Institut psikhologii Rossiiskoi akademii nauk. Organizatsionnaya psikhologiya i psikhologiya truda = Institute of Psychology Russian Academy of Sciences. Organizational Psychology and Labor Psychology*. 2022;7(1):226–262. (In Russ.)
15. Brumshtein Y.M., Molimonov D.A. Mathematical models and methods for solving problems of information support, management and assessment of the quality of work of operators in complex human-machine systems. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2019;(3):73–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2019-3-73-89>
16. Feshin B.N. Operator-dispatcher in integrated control systems. Information and psychological preparation. *Avtomatika. Informatika = Automation. Computer Science*. 2020;(2):31–35. (In Russ.).
17. Eroshenko A.Y., Groshilin S.M., Bugayan S.E., Anistratenko L.G. Promising non-drug technologies for optimizing the psychophysiological qualities and performance of operators. *Morskaya meditsina = Marine Medicine*. 2019;5(2):55–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.22328/2413-5747-2019-5-2-55-62>

18. Shutkin A. N. Prediction and early diagnosis of diseases caused by long-term mental stress. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2016;15(2):320–325. (In Russ.)
19. Korenevskii N.A., Polyakov A.V., Rodionova S.N., Govorukhina T.N. Method of synthesis of mathematical models for forecasting and early diagnosis of cognitive impairment. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biotekhnicheskikh sistemakh = System Analysis and Management in Biotechnical Systems*. 2019;18(4):85–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.25987/VSTU.2020.18.4.011>
20. Korenevskiy N.A., Rodionova S.N., Aksenov V.V., Korzhuk N.L. An expert system for assessment of the state of cognitive functions using a fuzzy hybrid knowledge base. *Biomedical Engineering*. 2021;55(4):263–268.
21. Korenevskiy N. A., Riad Taha Al-Kasasbeh, Fawaz Al-Shawawreh, Tareq Ahram, Rodionova S. N., Mahdi Salman, Filist S. A., Namazov M., Shaqadan Ashraf, Ilyash M. Prediction of operators cognitive degradation and impairment using hybrid fuzzy modelling. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2022;24(4):1–26. <https://doi.org/10.1080/1463922X.2022.2086645>
22. Korenevskii N.A., Shutkin A.N., Gorbatenko S.A., Serebrovskii V.I. Assessment and management of the health status of students based on hybrid intelligent technologies. *Saryi Oskol: TNT*; 2020. 472 p. (In Russ.)
23. Korenevskii N.A., Rodionova S.N., Khripina I.I. Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems. *Saryi Oskol: TNT*; 2019. 472 p. (In Russ.)
24. Korenevskii N.A., Aksenov V.V., Rodionova S.N., Gontarev S.N., Lazurina L.P., Safonov R.I. Method for a comprehensive assessment of the level of information content of classification features in conditions of a fuzzy data structure. *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*. 2023;(3):80–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2022-12-3-80-96>

Информация об авторах / Information about the Authors

Корневский Николай Алексеевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры биомедицинской
инженерии, Юго-Западный
государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru,
ResearcherID: F-8112-2013,
ORCID: 0000-0003-2048-0956,
Scopus ID: 24471633500

Nikolay A. Korenevsky, Doctor of Sciences
(Engineering), Professor, Professor
of the Department of Biomedical Sciences,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru,
ResearcherID: F-8112-2013,
ORCID: 0000-0003-2048-0956,
Scopus ID: 24471633500

Рыбаков Антон Юрьевич, аспирант кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

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

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

Anton Y. Rybakov, Post-Graduate Student of the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

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, WOS ID: Q-1060-2017, Scopus ID: 57195455825

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