

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-232-244>

УДК 621.391.26

Прогнозирование ишемической болезни сердца на основе гибридных нечетких правил принятия решений

С. Н. Родионова¹, С. А. Филист¹, К. В. Разумова¹✉, О. М. Азалиева¹

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

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Резюме

Целью исследования является повышение качества прогнозирования ишемической болезни сердца за счет использования в моделях принятия решений вместе с набором общепринятых факторов риска показателей, характеризующих работу защитных механизмов сердечно-сосудистой системы.

Методы. На предварительном этапе исследования в ходе проведенного разведочного анализа было установлено, что класс «высокий риск» появления ишемической болезни сердца по отношению к альтернативным классам имеет нечетко выраженные значительно пересекающиеся границы. В этих условиях специалисты, ориентированные на решение плохоформализуемых задач, рекомендуют использовать теорию нечеткой логики принятия решений, и в частности, методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил, разработанную в Юго-Западном государственном университете. На этом же этапе исследований был определен состав информативных признаков, в который вошли традиционно используемые в медицинской практике признаки, показатели степени ишемического поражения головного мозга и сердца, показатели, характеризующие функционирование антиоксидантной системы, энергетический разбаланс «сердечных» точек акупунктуры и характеристики уровня защиты сердечно-сосудистой системы.

Результаты. В работе получена математическая модель прогнозирования ишемической болезни сердца, использующая систему традиционных для медицинской практики предикторов в сочетании с блоками признаков, описывающих степень ишемического поражения сердца и головного мозга, функционирование антиоксидантной системы защиты, энергетический разбаланс БАТ, «связанных» с заболеванием сердца, и характеристики уровня защиты сердечно-сосудистой системы.

Заключение. Проведенные исследования показали, что для улучшения качества прогнозирования в соответствующих решающих правилах целесообразно объединять следующее: предикторы традиционной медицины; показатели, характеризующие степень ишемического поражения головного мозга и сердца; показатели, характеризующие функционирование антиоксидантной системы; энергетический разбаланс «сердечных» точек акупунктуры характеристики уровня защиты ССС.

Было показано, что качество прогнозирования с использованием полученных в работе моделей увеличивается на 10–15% по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты организма.

Ключевые слова: прогнозирование; ишемическая болезнь сердца; функции уровня защиты; уровень защиты сердечно-сосудистой системы; нечеткие решающие правила; нечеткие модели принятия решений.

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

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

Для цитирования: Прогнозирование ишемической болезни сердца на основе гибридных нечетких правил принятия решений / С. Н. Родионова, С. А. Филист, К. В. Разумова, О. М. Азалиева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2025. Т. 15, № 3. С. 232–244. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1536-2025-15-3-232–244](https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-232-244)

Поступила в редакцию 05.07.2025

Подписана в печать 03.08.2025

Опубликована 30.09.2025

Prediction of ischemic heart disease based on hybrid fuzzy decision rules

Sergei N. Rodionova¹, Sofya A. Filist¹, Ksenia V. Razumova¹✉,
Oksana M. Azalieva¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Abstract

The purpose of the research is to improve the quality of predicting coronary heart disease by using decision-making models together with a set of generally accepted risk factors that characterize the functioning of the protective mechanisms of the cardiovascular system.

Methods. At the preliminary stage of the study, an exploratory analysis revealed that the "high risk" class of coronary heart disease has significantly overlapping boundaries in relation to alternative classes. In these conditions, specialists focused on solving poorly formalized problems recommend using the theory of fuzzy decision-making logic, and in particular, the methodology for synthesizing hybrid vague decision rules developed at Southwestern State University. At the same stage of the research, the composition of informative signs was determined, which included signs traditionally used in medical practice, indicators of the degree of ischemic damage to the brain and heart, indicators characterizing the functioning of the antioxidant system, the energy imbalance of the "cardiac" acupuncture points and characteristics of the level of protection of the cardiovascular system.

Results. The paper provides a mathematical model for predicting coronary artery disease using a system of traditional predictors for medical practice in combination with blocks of signs describing the degree of ischemic damage to the heart and brain, the functioning of the antioxidant defense system, the energy imbalance of BAT "associated" with heart disease, and the characteristics of the level of protection of the cardiovascular system.

Conclusion. The conducted studies have shown that in order to improve the quality of forecasting, it is advisable to combine the following in appropriate decisive rules: predictors of traditional medicine; indicators characterizing the degree of ischemic damage to the brain and heart; indicators characterizing the functioning of the antioxidant system; energy imbalance of "cardiac" acupuncture points; characteristics of the level of cardiovascular protection. It was shown that the quality of forecasting using the models obtained in the work increases by 10–15% compared with models that do not use indicators of the body's level of protection.

Keywords: prognosis; coronary heart disease; functions of the protection level; the protection level of the cardiovascular system; fuzzy decision rules; fuzzy decision-making models.

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 no conflict of interest related to the publication of this article.

For citation: Rodionova S.N., Filist S.A., Razumova K.V., Azalieva O.M. Prediction of ischemic heart disease based on hybrid fuzzy decision rules. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2025;15(3):232–244. (In Russ.) [https://doi.org/ 10.21869/2223-1536-2025-15-3-232-244](https://doi.org/10.21869/2223-1536-2025-15-3-232-244)

Received 05.07.2025

Accepted 03.08.2025

Published 30.09.2025

Введение

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что, несмотря на несомненные достижения в области кардиологии, широко использующей современные информационные и интеллектуальные технологии, заболевания сердца и сосудов по сравнению с другими классами заболеваний являются наиболее частой причиной летальных исходов в России [1] и мире [2]. Причем значительная доля от этих смертей приходится на ишемическую болезнь сердца (ИБС) [3]. С учетом этого своевременное и качественное прогнозирование и обнаружение ранних стадий ИБС [4] с дальнейшей оптимизацией лечебно-диагностического процесса является актуальной задачей [5].

В профильной отечественной литературе выделяют немодифицируемые и модифицируемые факторы риска ИБС, рекомендуемые в качестве предикторов при оценке риска появления и развития исследуемой патологии [6], которые используются для построения соответствующих прогностических алгоритмов [3].

Анализ точности работы этих алгоритмов и отзывы практикующих специалистов позволяют сделать вывод о необходимости проведения дальнейших исследований [7] по повышению качества принятия решений по исследуемому классу заболеваний [8].

В ходе исследований, проведенных авторами на кафедре биомедицинской инженерии, было показано, что повышение качества прогнозирования ИБС может быть достигнуто, если в разрабатываемых моделях вместе с набором общепринятых факторов риска использовать показатели, характеризующие работу защитных механизмов сердечно-сосудистой системы при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) [9].

Материалы и методы

Проведенный разведочный анализ структуры данных по факторам риска ИБС, используемых в традиционной медицине, и по показателям, характеризующим работу защитных механизмов сердечно-сосудистой системы и организма в целом, показал, что

прогнозируемый класс состояний (через выбранное время наблюдения пациент заболит ИБС) с формальной точки зрения хорошо описывается в рамках технологии мягких вычислений, реализуемой с использованием МСГНРП, ориентированной на плохоформализуемые структуры данных [10]. В рамках выбранной методологии были получены различные варианты количественной оценки уровня защиты организма и его систем [11]: на основе методов, используемых в традиционной адаптологии [12], реализуемых в рамках выбранной методологии [13]; используя количественные показатели, характеризующие функциональный резерв [14] и функциональное состояние [15] организма [16] с ориентацией на технологию мягких вычислений [17], включая региональные ишемические процессы [18], в центральной гемодинамической системе [19], в отдельных органах [20] и сердце [8].

На первом этапе синтеза прогностического решающего правила в соответствии с общими рекомендациями МСГНРП с учетом выбранной нечеткой парадигмы определялся состав информативных признаков x_i ($i = 1, \dots, 12$), в состав которых в части общепринятых в медицине предикторов вошли: пол, возраст, наследственность, курение, алкоголь, ожирение, нерациональное питание, дислипидемия, гиподинамия, артериальная гипертензия, нарушение углеводного обмена (сахарный диабет, гипергликемия), психосоциальные факторы.

На втором этапе синтеза определялась система функций принадлежности $\mu(x_i)$ к классу «высокая уверенность в риске появления и развития ИБС» (класс ω_i), которые агрегируются в частное решающее правило оценки уверенности UT_i в прогнозе по ИБС:

$$UT_i(i+1) = UT_i(i) + \mu_i(x_{i+1}) [1 - UT_i(i)]. \quad (1)$$

Использование формулы (1) предполагает, что для расчетов UT_i могут задействованы не все показатели. В этом случае уменьшается мера доверия MD_i к принимаемым решениям, которая определяется по формуле

$$MD_i(j+1) = MD_i(j) + P_{j+1}[1 - MD_i(j)], \quad (2)$$

где P_{j+1} – уверенность в ω_i при наличии измеренного значения предиктора с идентификатором $j+1$; $j = 1, \dots, 11$.

Величины составляющих P_{j+1} определяются экспертами в соответствии с рекомендациями [9].

При наличии всех составляющих в модели (1) мера доверия к ней превышает величину 0,85.

При оценке меры доверия по средним значениям функций принадлежности её величина превышает величину 0,55.

Работами доктора А. Быкова было доказано, что ишемические процессы в сердце и сосудах, включая сосуды других органов, приобретают хроническую взаимоотноотягивающую связь [18]. Это позволяет сделать вывод о том, что

ишемии сердца и головного мозга следует рассматривать как существенный фактор риска для появления и развития ИБС. В работе [9] приводятся математические модели оценки степени тяжести ишемии головного мозга и нижних конечностей, по которым определяется частная уверенность в том, что у обследуемого прогнозируется появление и развитие ИБС UST_{Π} .

Мера доверия к показателю UST_{Π} определяется аналогично (2). По наибольшим значениям рисков мера доверия к показателю UST_{Π} равна 0,58, а мера доверия по средним значениям функций принадлежности к классу ω_{Π} равна 0,32.

В ходе исследований, проведенных на кафедре биомедицинской инженерии, была определена третья группа факторов риска в составе: перекисное окисление липидов (ПОЛ); антиоксидантная активность (АОА); энергетический разбаланс БАТ, «связанных» с заболеванием сердца (SRB) [11].

Уверенность в ω_{Π} по третьей группе факторов риска определяется выражением

$$UD_{\Pi} = \mu_{\Pi}(Z) + \mu_{\Pi}(SRB) - \mu_{\Pi}(Z) \cdot \mu_{\Pi}(SRB), \quad (3)$$

где $\mu_{\Pi}(Z)$ и $\mu_{\Pi}(SRB)$ – функции принадлежности к классу ω_{Π} с базовыми переменными Z и SRB соответственно.

В свою очередь, переменная Z определяется выражением

$$Z = \delta x_{\Pi} - \delta x_A,$$

$$\text{где } \delta x_{\Pi} = \frac{x_{\Pi}^T - x_{\Pi}^H}{x_{\Pi}^H}; \quad \delta x_A = \frac{x_A^T - x_A^H}{x_A^H};$$

x_{Π}^H и x_A^H – ПОЛ и АОА, измеренное на репрезентативной группе здоровых людей; x_{Π}^T и x_A^T – ПОЛ и АОА у обследуемого пациента.

По наибольшим значениям рисков мера доверия к модели (3) превышает величину 0,61, а мера доверия по средним значениям функций принадлежности к классу ω_{Π} превышает величину 0,34.

Финальная модель прогнозирования появления и развития ИБС описывается выражением вида

$$UF_{\Pi}(j+1) = UF_{\Pi}(j) + F_q[1 - UF_{\Pi}(j)], \quad (4)$$

где $UF_{\Pi}(1) = F_1 = UT_{\Pi}$; $F_2 = UST_{\Pi}$; $F_3 = UD_{\Pi}$; $j = 1, 2$; $q = 1, 2, 3$.

По наибольшим значениям рисков мера доверия к модели (4) превышает величину 0,97, а мера доверия по средним значениям функций принадлежности к классу $\omega_{\Pi С}$ равна 0,8.

В работе [11] было показано, что для увеличения точности прогнозирования в синтезируемых моделях следует учитывать уровень защиты исследуемых органов и систем, определяемый через функции уровня защиты исследуемых органов и систем.

В ходе проведенных нами исследований было показано, что уровень защиты сердечно-сосудистой системы UZ_c целесообразно определять по индексу вегетативного равновесия (ИВР), определяющему соотношение парасимпатического и симпатического отделов

вегетативной нервной системы в регуляции сердечной деятельности и по показателю степени риска поражения сердечно-сосудистой системы SR , рассчитываемому по группе гемодинамических показателей [9].

ИБР определяется по формуле

$$\text{ИБР} = \text{АМо}/\text{VAR}, \quad (5)$$

где АМо – амплитуда моды для интервалов, которые соответствуют значению моды RR -интервалов; VAR – вариационный размах определяемый как разность между длительностью самого большого и самого маленького из RR -интервалов. Функция уровня защиты f_{zcc} (ИБР) характеризует уровень защиты CCC по каналам управления ритмом сердца со стороны ВНС.

Показатель SR определяется по группе гемодинамических показателей, в состав которых входят: амплитуда Т-зубца – X_1 ; смещение сегмента ST относительно изолинии – X_2 ; концентрация креатинфосфокиназы – X_3 ; концентрация тропанина Т – X_4 . Для оценки степени риска патологии CCC в работе [9] был получен набор нормирующих функций вида:

$$f_c(X_1) = \begin{cases} 0,06, & \text{если } X_1 < 0,3, \\ -0,02X_1, & \text{если } -3 \leq X_1 < 0,3, \\ 0, & \text{если } 0 \leq X_1 < 3, \\ 0,05X_1, & \text{если } 3 \leq X_1 < 6, \\ 0,15, & \text{если } X_1 \geq 6, \end{cases}$$

$$f_c(X_2) = \begin{cases} 0,19, & \text{если } X_2 < -2, \\ -0,095X_2, & \text{если } -2 \leq X_2 < 0, \\ 0,125X_2, & \text{если } 0 \leq X_2 < 2, \\ 0,25, & \text{если } X_2 \geq 2, \end{cases}$$

$$f_c(X_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } X_3 < 180, \\ 0,0009X_3 - 0,16, & \text{если } 180 \leq X_3 < 400, \\ 0,25, & \text{если } X_3 \geq 400, \end{cases}$$

$$f_c(X_4) = \begin{cases} 0,5X_4, & \text{если } 0 \leq X_4 < 0,5, \\ 0,25, & \text{если } X_4 \geq 0,5. \end{cases}$$

Степень риска появления и развития заболеваний CCC определяется итерационной формулой вида:

$$SR(i+1) = SR(i) + f_c(X_{i+1})[1 - SR(i)], \quad (6)$$

где $SR(1) = f_c(X_1)$.

Функция уровня защиты $f_{zcc}(SR)$ характеризует уровень защиты сердца по внутренним контурам ее функционирования.

При выборе агрегатора функций уровня защиты CCC для решения задачи прогнозирования ИБС эксперты, руководствуясь рекомендациями [9], выбрали модель вида

$$UZIN_{ИБС} = (0,9 f_{zsc}(SR) + 0,6 f_{zsc}(\text{ИБР}))/2,5. \quad (7)$$

По наибольшим значениям рисков мера доверия к модели (7) превышает величину 0,99, а мера доверия по средним значениям функций принадлежности к классу ω_H превышает величину 0,67.

С учетом уровня защиты CCC с ориентацией на противодействие ИБС модель прогнозирования ишемической болезни сердца принимает вид

$$UPZ_{ИБС} = \begin{cases} UF_{\Pi} - UZIN_{ИБС}, & \text{если } UF_{\Pi} > UZIN_{ИБС}, \\ 0, & \text{если } UF_{\Pi} \leq UZIN_{ИБС}. \end{cases} \quad (8)$$

По наибольшим значениям рисков мера доверия к модели (8) превышает величину 0,99, а мера доверия по средним значениям функций принадлежности к классу ω_{II} превышает величину 0,93.

Результаты и их обсуждение

В рамках МСГНРП рекомендуется проводить трехуровневый контроль получаемых решающих правил.

На первом уровне производится экспертная оценка с определением мер доверия к исследуемым моделям для максимального и наиболее часто встречающегося набора информативных признаков.

На втором уровне эксперты формируют искусственные (модельные) контрольные выборки с объектами альтернативных классов, выбирая различные варианты мер их близости (близкие, средние и наиболее удаленные объекты). В ходе математического моделирования было установлено, что уверенность в правильной классификации для модели (8) находится на уровне 0,98.

Третий уровень контроля организуется традиционным для теории распознавания способом по репрезентативным контрольным выборкам по таким показателям качества, как диагностическая чувствительность (ДЧ) и специфичность (ДС), диагностическая эффективность (ДЭ), прогностическая значимость положительных и отрицательных результатов. В ходе пятилетнего

наблюдения за качеством работы прогностического решающего правила (8) было показано, что приемлемое качество прогноза обеспечивается не менее чем на трехлетнем периоде наблюдения. При этом если в модели (8) отсутствует составляющая $UZIN_{ИБС}$, все показатели качества принятия решений находятся в интервале 0,85–0,9, а при учете составляющей уровня защиты ССС превышает величину 0,97.

Полученные результаты трехуровневой проверки позволяют рекомендовать предложенные решающие правила для использования в практической медицине.

Выводы

Проведенные исследования показали, что для улучшения качества прогнозирования в соответствующих решающих правилах целесообразно объединять следующее: предикторы традиционной медицины; показатели, характеризующие степень ишемического поражения головного мозга и сердца; показатели, характеризующие функционирование антиоксидантной системы; энергетический разбаланс «сердечных» точек акупунктуры характеристики уровня защиты ССС.

Проведенная оценка качества принимаемых решений с использованием методов экспертного оценивания, математического моделирования и статистического анализа показала, что

полученные гибридные нечеткие модели обеспечивают приемлемое качество прогнозирования появления и развития ИБС, а включение в состав решающих правил показателя уровня защиты ССС повышает качество принимаемых решений на 10–15% процентов в

зависимости от количества и качества собираемой информации по сравнению с моделями, не использующими показатели уровня защиты, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию в системе здравоохранения.

Список литературы

1. Толпыгина С. Н., Марцевич С. Ю. Исследование ПРОГНОЗ ИБС. Новые данные по отдаленному наблюдению // Профилактическая медицина. 2016. Т. 19, № 1. С. 30–36. <https://doi.org/10.17116/profmed201619130-36>
2. Оценка кардиоваскулярного риска у работников нефтехимических производств и разработка программы профилактики сердечно-сосудистых заболеваний / Л. К. Каримова, З. Ф. Гимаева, Р. Р. Галимова, Н. А. Мулдашева, Д. Х. Калимуллина, Л. Н. Маврина, Е. Р. Абдрахманова // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 9. С. 978–983. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-978-983>
3. Роль эпигенетических факторов в развитии и диагностике ишемической болезни сердца / А. Р. Садыкова, А. Р. Сафиуллина, К. Р. Нуриахметова [и др.] // Вестник современной клинической медицины. 2023. Т. 16, № 6. С. 123–129. [https://doi.org/10.20969/VSKM.2023.16\(6\).123-129](https://doi.org/10.20969/VSKM.2023.16(6).123-129)
4. Кардиоваскулярная профилактика 2017. Российские национальные рекомендации / С. А. Бойцов, Н. В. Погосова, М. Г. Бубнова [и др.] // Российский кардиологический журнал. 2018. № 6. С. 7–122.
5. Бойцов С. А., Проваторов С. И. Сердечно-сосудистые заболевания в Российской Федерации: основные составляющие смертности и направления профилактики // Вестник Росздравнадзора. 2018. № 5. С. 12–8.
6. Основы ранней диагностики и прогнозирования ишемической болезни сердца / О. А. Ефремова, Л. А. Камышникова, В. М. Никитин, Е. А. Железнова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2013. № 18(161), вып. 23. С. 33–36.
7. Барбараш О. Л. Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 22, № 11. С. 201–250.
8. Прогнозирование появления и развития ишемической болезни сердца у инженерно-технического персонала на основе нечетких гибридных моделей / Н. А. Корневский,

Р. И. Сафронов, С. Н. Родионова, Н. А. Милостная, К. В. Разумова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2024. Т. 23, № 4. С. 148–157.

9. 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.

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

11. Методы количественной оценки защитных механизмов организма на различных его уровнях на основе гибридных нечетких моделей и их использование в задачах прогнозирования и медицинской диагностики / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, Е. В. Крикунова, Р. И. Сафронов, В. А. Белозеров // Медицинская техника. 2022. № 3(333). С. 24–27.

12. Анализ когнитивных функций и нейрофизиологических процессов при адаптации человека к условиям арктики / Е. П. Муртазина, И. И. Коробейникова, Л. В. Поскотина, Н. А. Каратыгин, С. С. Перцов // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2023. Т. 31, № 2. С. 293–304. <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109581>

13. Сафронов Р. И. Синтез нечетких моделей оценки влияния производственной среды на состояние здоровья работников по факторам трудовой адаптации // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2023. Т. 22, № 3. С. 89–98.

14. Курзанов А. Н., Заболотских Н. В., Ковалев Д. В. Функциональные резервы организма: монография. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 96 с.

15. 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. 22, № 3. С. 67–77.

16. Совершенствование оценки функциональных резервов организма – приоритетное направление развития донозологической диагностики преморбидных состояний / А. Н. Курзанов, А. Н. Заболотских, Д. В. Ковалев, Д. А. Бузиашвили // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 10, ч. 1. С. 67–70.

17. Бойцова Е. А., Шуткин А. Н., Магеровский М. А. Оценка уровня функциональных резервов организма на основе технологий мягких вычислений и модели Г. Раша //

Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 14, № 3. С. 577–584.

18. Быков А. В. Использование технологии мягких вычислений для оценки степени тяжести региональных ишемических процессов // Системный анализ и управление в биотехнических системах. 2017. Т. 16, № 4. С. 916–926.

19. Быков А. В. Метод и нечеткая модель оценки степени тяжести ишемической болезни центральной гемодинамической системы // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 144–150.

20. Быков А. В., Устинов А. Г., Хрипина И. И. Модель прогнозирования возникновения осложнений ишемии нижних конечностей путём оценки функционального резерва организма // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 4 (17). С. 81–88.

References

1. Tolpygina S.N., Martsevich S.Yu. Study PROGNOSIS OF IHD. New data on remote observation. *Profilakticheskaya meditsina = Preventive Medicine*. 2016;19(1):30–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/profmed201619130-36>

2. Karimova L.K., Gimaeva Z.F., Galimova R.R., Muldasheva N.A., Kalimullina D.Kh., Mavrina L.N., Abdrakhmanova E.R. Assessment of cardiovascular risk in workers of petrochemical industries and development of a program for the prevention of cardiovascular diseases. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2019;98(9):978–983. (In Russ.) <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-9-978-983>

3. Sadykova A.R., Safiullina A.R., Nuriakhmetova K.R., et al. The role of epigenetic factors in the development and diagnosis of coronary heart disease. *Vestnik sovremennoi klinicheskoi meditsiny = Bulletin of Modern Clinical Medicine*. 2023;16(6):123–129. (In Russ.) [https://doi.org/10.20969/VSKM.2023.16\(6\).123-129](https://doi.org/10.20969/VSKM.2023.16(6).123-129)

4. Boytsov S.A., Pogosova N.V., Bubnova M.G., et al. Cardiovascular prevention 2017. Russian national recommendations. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal = Russian Journal of Cardiology*. 2018;(6):7–122. (In Russ.)

5. Boytsov S.A., Provatorov S.I. Cardiovascular diseases in the Russian Federation: main components of mortality and areas of prevention. *Vestnik Roszdravnadzora = Bulletin of Roszdravnadzor*. 2018;(5):12–8. (In Russ.)

6. Fundamentals of early diagnosis and prognosis of coronary heart disease / O.A. Efremova, L.A. Kamyshnikova, V.M. Nikitin, E.A. Zheleznova. *Nauchnye vedomosti*

Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya = Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: Medicine. Navigation. 2013;18(161):33–36. (In Russ.)

7. Barbarash O.L. Stable coronary heart disease. Clinical guidelines. *Rossiiskii kardiologicheskiy zhurnal = Russian Journal of Cardiology.* 2020;22(11):201–250. (In Russ.)

8. Korenevsky N.A., Safronov R.I., Rodionova S.N., Milostnaya N.A., Razumova K.V. Forecasting the occurrence and development of ischemic heart disease in engineering and technical personnel based on fuzzy hybrid models. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Control in Biomedical Systems.* 2024;23(4):148–157. (In Russ.)

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

10. Safronov R.I., Starodubtseva L.V., Krikunova E.V. Prospects for the use of soft computing and information technologies in occupational pathology. *Kursk: Izdatel'stvo Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii;* 2018. 232 p. (In Russ.)

11. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Krikunova E.V., Safronov R.I., Belozarov V.A. Methods for quantitative assessment of the body's defense mechanisms at its various levels based on hybrid fuzzy models and their use in forecasting and medical diagnostics. *Meditsinskaya tekhnika = Medical Equipment.* 2022;3(333):24–27. (In Russ.)

12. Murtazina E.P., Korobaynikova I.I., Poskotinova L.V., Karatygin N.A., Pertsov S.S. Analysis of cognitive functions and neurophysiological processes in human adaptation to Arctic conditions. *Rossiiskii mediko-biologicheskii vestnik imeni akademika I. P. Pavlova = Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I.P. Pavlov.* 2023;31(2):293–304. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ109581>

13. Safronov R.I. Synthesis of fuzzy models for assessing the impact of the production environment on the health of workers based on labor adaptation factors. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems.* 2023;22(3):89–98. (In Russ.)

14. Kurzanov A.N., Zabolotskikh N.V., Kovalev D.V. Functional reserves of the body. Moscow: Izdatel'skii dom Akademii Estestvoznaniya; 2016. 96 p. (In Russ.)

15. Korenevsky N.A., Rodionova S.N., Razumova K.V., Lukash O.Y. Evaluation of the protective functions of the body and its systems by indicators of functional state and functional reserve. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems.* 2023; 22(3):67–77 (In Russ.)

16. Kurzanov A.N., Zabolotskikh A.N., Kovalev D.V., Buziashvili D.A. Improving the assessment of the body's functional reserves is a priority area for the development of preclinical diagnostics of premorbid conditions. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*. 2015;(10):67–70. (In Russ.)

17. Boytsova E.A., Shutkin A.N., Magerovsky M.A. Assessment of the level of functional reserves of the body based on soft computing technologies and the model of G. Rasch. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2017;14(3):577–584. (In Russ.)

18. Bykov A.V. Using soft computing technology to assess the severity of regional ischemic processes. *Sistemnyi analiz i upravlenie v biotekhnicheskikh sistemakh = Systems Analysis and Management in Biomedical Systems*. 2017;16(4):916–926 (In Russ.)

19. Bykov A.V. Method and fuzzy model for assessing the severity of ischemic disease of the central hemodynamic system. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii = Bulletin of New Medical Technologies*. 2017;24(4):144–150. (In Russ.)

20. Bykov A.V., Ustinov A.G., Khripina I.I. Model for predicting the occurrence of complications of lower limb ischemia by assessing the functional reserve of the body. *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*. 2015;4(17):81–88. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the Authors

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

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, ORCID: 0000-0002-4477-3975

Филист Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sfilist@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1358-671X

Sergei A. Filist, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: sfilist@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1358-671X

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

Азалиева Оксана Михайловна, директор центра медицинской профилактики, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: oksana.m.vorobyeva@yandex.ru

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

Oksana M. Azalieva, Director of the Center for Medical Prevention, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: oksana.m.vorobyeva@yandex.ru