
МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>



УДК 615.47

Синтез моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний на основе гибридной нечеткой технологии

Р. И. Сафронов¹, К. В. Разумова²✉, А. Ю. Рыбаков², А. В. Лях²

¹ Курский государственный аграрный университет имени И. И. Иванова
ул. Карла Маркса, д. 70, г. Курск 305021, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет,
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Резюме

Цель исследования – разработка метода синтеза моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний на основе гибридной нечеткой технологии, обеспечивающих повышение качества принятия решений в профпатологии.

Методы. Установлено, что большинство задач, относящихся к исследуемой в работе теме (прогнозирование, ранняя диагностика, оценка степени тяжести и динамики развития профессиональных заболеваний), относятся к классу плохо формализуемых задач с нечеткой и неполной структурой данных, которые рекомендуется решать при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил, опирающейся на взаимодействие естественного интеллекта врачей и инженера-когнитолога с искусственным гибридным интеллектом. С использованием выбранного математического аппарата предложен метод синтеза нечетких моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний.

Результаты. В качестве конкретного примера решена задача прогнозирования и диагностики ишемической болезни сердца (ИБС) у машинистов электропоездов с выделением таких классов состояний, как: «здоров и появление ИБС не ожидается»; «здоров, но через прогнозируемое время ожидается появление ИБС»; «ранняя стадия ИБС»; «выявлено заболевание ИБС». В результате экспертного оценивания было показано, что уверенность в правильной классификации находится на уровне 0,9. Этот же результат был подтвержден результатами статистических испытаний на репрезентативных контрольных выборках по показателям диагностической чувствительности и специфичности.

© Сафронов Р. И., Разумова К. В., Рыбаков А. Ю., Лях А. В., 2023

Заключение. Предложенный метод синтеза гибридных нечетких моделей позволяет синтезировать гибридные решающие правила, обеспечивающие повышение качества прогнозирования и ранней диагностики исследуемого класса заболеваний как при наличии обучающих выборок, так и при их отсутствии путем компенсации недостатка статистического материала методами формализации клинического мышления. В качестве конкретного примера решена задача прогнозирования и диагностики ишемической болезни сердца у машинистов электропоездов. Показано, что уверенность в правильной классификации находится на уровне 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию в профпатологии.

Ключевые слова: профессиональные заболевания; прогнозирование; диагностика; нечеткие решающие правила; ишемическая болезнь сердца; уверенность в принимаемых решениях.

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

Для цитирования: Синтез моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний на основе гибридной нечеткой технологии / Р. И. Сафронов, К. В. Разумова, А. Ю. Рыбаков, А. В. Лях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 3. С. 102–121. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>.

Поступила в редакцию 10.07.2023

Подписана в печать 09.08.2023

Опубликована 29.09.2023

Synthesis of Models for Predicting and Diagnosing Occupational Diseases Based on Hybrid Fuzzy Technology

Ruslan I. Safronov¹, Ksenia V. Razumova²✉,
Anton Y. Rybakov², Anton V. Lyakh²

¹ Kursk State Agricultural Academy Named After I. I. Ivanov
70 Karl Marx Str., Kursk 305021, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: myelectronworld@mail.ru

Abstract

The purpose of research is to develop a method for synthesizing models for predicting and diagnosing occupational diseases based on hybrid fuzzy technology, providing an increase in the quality of decision-making in occupational pathology.

Methods. It is established that most of the problems related to the topic under study (forecasting, early diagnosis, assessment of the severity and dynamics of the development of professional diseases) belong to the class of poorly formalized problems with fuzzy and incomplete data structure, which are recommended to be solved using the methodology of synthesis of hybrid fuzzy solving rules based on the interaction of the natural intelligence of doctors and a cognitive engineer with artificial hybrid intelligence. Using the chosen mathematical apparatus, a method for the synthesis of fuzzy models of forecasting and diagnosis of occupational diseases is proposed.

Results. As a concrete example, the problem of predicting and diagnosing ischemic heart disease (CHD) in electric train drivers has been solved with the allocation of such classes of conditions as: "healthy and the appearance of CHD is not expected"; "healthy, but the appearance of CHD is expected after the predicted time"; "early stage of CHD"; "CHD disease has been detected". As a result of expert evaluation, it was shown that the confidence in the correct classification is at the level of 0.9. The same result was confirmed by the results of statistical tests on representative control samples in terms of diagnostic sensitivity and specificity.

Conclusion. The proposed method of synthesis of hybrid fuzzy models makes it possible to synthesize hybrid decision rules that improve the quality of prediction and early diagnosis of the studied class of diseases both in the presence of training samples and in their absence by compensating for the lack of statistical material by methods of formalization of clinical thinking. As a concrete example, the problem of predicting and diagnosing ischemic heart disease in electric train drivers has been solved. It is shown that the confidence in the correct classification is at the level of 0.9, which allows us to recommend the results obtained for practical use in occupational pathology.

Keywords: occupational diseases; prediction; diagnostics; fuzzy decision rules; coronary heart disease; confidence in decisions.

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

For citation: Safronov R. I., Razumova K. V., Rybakov A. Y., Lyakh A. V. Synthesis of Models for Predicting and Diagnosing Occupational Diseases Based on Hybrid Fuzzy Technology. *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; 13(3): 102–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-102-121>.

Received 10.07.2023

Accepted 09.08.2023

Published 29.09.2023

Введение

Несмотря на успехи современной медицины и достаточно хорошо организованные службы охраны труда, профессиональные болезни относятся к одной из самых многочисленных групп заболеваний. Анализ литературы и собственные исследования показали, что повысить эффективность в борьбе с профессиональными заболеваниями можно, используя современные информационные и интеллектуальные технологии, применяя их для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых и развивающихся под воздействием производственных факторов риска. Точные и своевременные прогноз появления и развития профессиональных заболеваний или своевременно определенная ранняя стадия выбранного класса заболеваний позволяют значи-

тельно улучшить качество оказания медицинской помощи исследуемой категории пациентов.

В современной практической профпатологии используют два основных подхода. Первый подход основывается на исследовании взаимосвязи вредных производственных факторов с риском появления и развития профессиональных заболеваний с использованием методов статистического анализа и (или) экспертного оценивания. Второй подход базируется на учении об адаптации, развиваемом в рамках современной адаптологии, с использованием моделей оценки адаптационного потенциала и функционального состояния, по которым судят о его состоянии здоровья. Каждый из этих подходов в отдельности, обладая своими достоинствами и недостатками, не в полной мере обеспечивает современные требования к каче-

ству прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых производственными факторами риска (ПФР), что во многом определяется ограничениями присущими используемому математическому аппарату.

Работами кафедры биомедицинской инженерии (БМИ) ЮЗГУ было установлено, что большинство задач, относящихся к исследуемой в работе теме (прогнозирование, ранняя диагностика, оценка степени тяжести и динамики развития профессиональных заболеваний), относятся к классу плохо формализуемых задач с нечеткой и неполной структурой данных, которые рекомендуется решать при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), опирающейся на взаимодействие естественного интеллекта врачей и инженера когнитолога с искусственным гибридным интеллектом. Клиническое мышление экспертов восполняет недостаток необходимых статистических данных и позволяет при взаимодействии с инженером когнитологом строить формальные модели для плохо формализуемых задач [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8].

Материалы и методы

Анализ литературы и исследования, проведенные на кафедре БМИ ЮЗГУ, включая исследования авторов, показали, что для синтеза выбранного класса моделей, обладающих достаточной для практической профпатологии точно-

стью принятия решений, кроме основных производственных факторов риска (ПФР) следует учитывать эргономические, экологические и индивидуальные факторы.

При синтезе соответствующих решающих правил (РП) ПФР рекомендуется группировать по блокам факторов, принятых в профессиональной патологии: химические факторы, вызывающие собственно профессиональные заболевания (острые и химические отравления, отдалённые последствия острых отравлений и хронических интоксикаций), и факторы, вызывающие общие заболевания; пылевые факторы (аэрозоли дезинтеграции и конденсации); физические факторы (вибрация, излучение, температурные воздействия, шум, перепады давления); перетруживание отдельных органов и систем; биологические факторы, вызывающие профессиональные инфекции.

Учет эргономических факторов рекомендуется проводить по следующим блокам признаков: антропометрические факторы (соответствие структуры, формы и размеров оборудования структуре, форме, размерам и массе человеческого тела); психологические факторы (соответствие оборудования возможностям и особенностям человеческого восприятия, памяти и мышления); психофизиологические факторы (соответствие оборудования возможностям человека); физиологические факторы (соответствие оборудования физиологическим свойствам человека); гигиенические факторы

(освещенность, температура, газовый состав воздушной среды, давление, влажность, токсичность, запыленность, напряженность электромагнитных полей, шум, радиация, вибрация и т. д.).

По группе экологических показателей рекомендуется учитывать подгруппы экологических показателей, связанных с влиянием используемой техники на окружающую природу, а также показатели, связанные с использованием материальных ресурсов природы.

Основная масса производственных, экологических, эргономических и индивидуальных факторов риска определяется на числовых шкалах, которые в рамках МСГНРП используются как базовые переменные функций принадлежности к исследуемым классам состояний с последующей агрегацией этих функций в искомые решающие правила. При этом следует иметь в виду, что в рамках выбранной методологии ее описание определяет обобщенную концепцию, перечень методов с общими рекомендациями по их отдельному и совместному использованию, не учитывая специфику решаемых в работе задач, что приводит к определенным сложностям в процессе синтеза решающих правил и к потере качества принимаемых решений.

С целью упрощения и упорядочения процедуры синтеза исследуемого класса моделей с учетом особенностей формирования и развития профессиональных заболеваний для различных типов производств разработан метод синтеза гибридных нечетких моделей

прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний, объединяющий парадигмы, принятые в классической профпатологии и гигиене труда и современной адаптологии.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от типа решаемых задач и медико-технологических возможностей может быть реализовано три основных варианта синтеза решающих правил прогнозирования и диагностики искомых классов заболеваний.

В первом варианте для всего выбранного набора информативных признаков и комплексных показателей $Y_{\ell j}$ с идентификатором j по классам ω_{ℓ} синтезируются функции принадлежности (ФП) сразу по всем типам решаемых задач $\mu_{\ell}^q(Y_{\ell j})$, где $q = з$ – здоров; $q = п$ – прогноз; $q = р$ – ранняя стадия заболевания; $q = к$ – клинические формы различной степени тяжести.

Полученные ФП группируются по блокам: признаки, характеризующие функциональное состояние (ФС), функциональный резерв (ФР), адаптационный потенциал (АП), объединяемые идентификатором АФ; признаки, описывающие эргономику рабочих мест ЕР; признаки, описывающие экологическую обстановку ЕК; индивидуальные характеристики организма и образа жизни (индивидуальные факторы риска по исследуемым классам заболеваний) ИН; дополнительные информативные признаки, увеличивающие качество принимаемых решений (иммунный статус,

энергетические характеристики биологически активных точек, насыщение крови кислородом, электрофизиологические характеристики сигналов и т. д.) ДР. Для каждого блока (подблока) соответствующие функции принадлежности агрегируются в частные решающие правила расчета уверенности в принимаемых решениях по классам ω_ℓ и задачам q .

По эргономическим факторам риска ФП агрегируются в модели вида

$$UES_\ell = A_{gEeg} [\mu_{es}(t_{ts})], \quad (1)$$

где A_{gEeg} – функция агрегации эргономических составляющих для патологии ω_ℓ ; $\mu_{es}(t_{ts})$ – ФП, определяющая уверенность в появлении и развитии заболеваний (ПРЗ) для патологии ω_ℓ от воздействия на организм человека производственной подсистемы (элемента, системы) s ; t_{ts} – базовая переменная характеризующая s как источник, провоцирующий патологию ω_ℓ . Конкретные нечеткие модели по оценке влияния эргономики на состояние здоровья работающих описаны в работах [4; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15].

Для экологических составляющих ФП агрегируются для расчета частных составляющих уверенности UEK_t , которые далее агрегируются в нечеткие модели типа

$$UV_{\ell q}^{EK} = AG_{\ell q}^{EK}(UEK_t), \quad (2)$$

где $AG_{\ell q}^{EK}$ – агрегатор составляющих уверенностей для показателей, характеризующих уровень экологической

нагрузки по экологическим характеристикам t . Примеры синтеза моделей типа (2) можно найти в работах [2; 4; 5; 8; 9; 10; 16; 17; 18; 19].

Для индивидуальных факторов риска ФП агрегируются в частные модели расчёта уверенности UIN_r с дальнейшим синтезом моделей вида:

$$UV_{\ell q}^{IN} = AG_{\ell q}^{IN}(UIN_r), \quad (3)$$

где $AG_{\ell q}^{IN}$ – агрегатор составляющих уверенностей для индивидуальных факторов риска с идентификатором r . Примеры синтеза моделей типа (3) можно найти в работах [1; 2; 8; 9; 10].

По показателям, характеризующим адаптационный потенциал, функциональное состояние и функциональный резерв, частная уверенность определяется нечеткой моделью вида

$$UV_{\ell q}^{AF} = AG_{\ell q}^{AF}[\mu_\ell^a(AF_p)], \quad (4)$$

где $AG_{\ell q}^{AF}$ – агрегатор составляющих уверенностей для показателей AF . Варианты моделей типа (4) приведены в работах [1; 11; 20; 21; 22; 23].

По дополнительным признакам частная уверенность определяется нечеткой моделью вида

$$UV_{\ell q}^{DP} = AG_{\ell q}^{DP}(VDP_f), \quad (5)$$

где $AG_{\ell q}^{DP}$ – агрегатор составляющих уверенностей для показателей DP с идентификаторами f .

Уверенность в ω_ℓ для задач q по ПФР определяется агрегацией всех составляющих, рассмотренных выше:

$$UFV_{\ell q}^{\text{ПР}} = AGR_{\text{ПР}}(UV_{\ell q}^{\text{EP}}, UV_{\ell q}^{\text{EK}}, UV_{\ell q}^{\text{IN}}, UV_{\ell q}^{\text{AF}}, UV_{\ell q}^{\text{DP}}) \quad (6)$$

где $AGR_{\text{ПР}}$ – агрегатор всех составляющих, характеризующих производственную деятельность.

Уверенность в ω_{ℓ} для задач q по непроизводственным факторам риска определяется агрегацией всех составляющих, характеризующих условия жизни обследуемых вне производства:

$$UFV_q^{\text{нп}} = AGR_{\text{нп}}(UV_{\ell q}^{\text{EP}}, UV_{\ell q}^{\text{EK}}, UV_{\ell q}^{\text{IN}}, UV_{\ell q}^{\text{AF}}, UV_{\ell q}^{\text{ПР}}) \quad (7)$$

где $AGR_{\text{нп}}$ – агрегатор всех составляющих, характеризующих внепроизводственную жизнедеятельность.

Знак $\sim$ над составляющими выражения (7) означает, что они отличаются от составляющих выражения (6).

Уверенность в диагнозах ω_{ℓ} по задачам q по всем факторам риска определяется агрегацией производственных и непроизводственных факторов риска.

Во втором варианте, когда эксперты затрудняются в получении функций принадлежности по всему перечню решаемых задач, им предлагается получить набор более простых для построения ФП к лингвистической переменной «уверенность в появлении и развитии ω_{ℓ} » безотносительно к задачам прогнозирования и диагностики – $\mu_{\ell}^{\text{ПР}}(Y_{\ell j})$, которые агрегируются в нечеткую модель оценки риска ПРЗ – RPR_{ℓ} :

$$RPR_{\ell} = AGP_{\ell}[\mu_{\ell}^{\text{ПР}}(Y_{\ell j})], \quad (8)$$

где AGP_{ℓ} – агрегатор функций принадлежности $\mu_{\ell}^{\text{ПР}}(Y_{\ell j})$.

Нечеткие модели оценки риска ПРЗ могут быть построены для различных составляющих аналогично моделям (1) – (7).

Далее на полученных шкалах RPR_{ℓ} строятся функции принадлежности к выбранным типам лингвистических переменных: «здоров, и появление патологии ω_{ℓ} не ожидается», «здоров, но через прогнозируемое время ожидается появление патологии ω_{ℓ} », «ранняя стадия патологии ω_{ℓ} », «имеется патология ω_{ℓ} ».

Третий вариант является объединением первых двух вариантов для различных блоков информативных признаков.

При выборе типов агрегаторов рекомендуется использовать алгоритмы их выбора, разработанные в рамках МСГНРП и описанные в работах [1; 3; 6].

Значительной проблемой при решении поставленных в работе задач является разделение здоровых людей, не имеющих склонности к профзаболеваниям, от здоровых, имеющих склонности к профзаболеваниям, и болеющих, если не предпринять специальных мер профилактики, а также отделения здоровых от людей, имеющих ранние стадии заболеваний. В классической адаптологии классификация ранних стадий заболеваний осуществляется по показателям уровней адаптации и ФС человека. В рамках выбранной нечеткой

парадигмы, если не срабатывают описанные выше механизмы, эту задачу предлагается решать с использованием нечетких продукционных правил следующего вида:

$$\text{Если } Q_{\ell q}(AF_{\ell pq}), \text{ то } M_{\ell pq}, \quad (9)$$

где $Q_{\ell q}(AF_{\ell pq})$ – нечеткое условие, вычисляемое по показателям адаптационного потенциала, ФС и (или) функционального резерва для задач q , по показателям p , для патологии ω_ℓ (в работах Р. Баевского и его учеников правомерность использования такой логики доказана для $q = p$); $M_{\ell pq}$ – нечеткая модель оценки уверенности по задачам q по показателям p для патологии ω_ℓ .

Результаты и их обсуждение

В качестве примера рассмотрим синтез решающих правил прогнозирования и диагностики ишемической болезни сердца (ИБС) у машинистов электропоездов. Эта болезнь является одной из самых распространенных заболеваний у выбранной категории работников, достаточно часто являющейся причиной потери трудоспособности и даже смерти.

На первом этапе исследований при формировании пространства информативных признаков с использованием метода, описанного в работе [24], было выделено две их группы. В первую группу вошли признаки, связанные с профессиональной деятельностью машинистов электропоездов: уровень эргономичности

кабины электропоезда (YE); уровень хронической психоэмоциональной напряженности (YPH); уровень хронического утомления (YUH); электромагнитное излучение в кабине машиниста (UEI).

По этой группе признаков получена модель оценки риска возникновения и развития ИБС (класс ω_u) вида

$$URI_1(q+1) = URI_1(q) + \mu_u(z_{i+1})[1 - URI_1(q)], \quad (10)$$

где URI_1 – уверенность в ω_u по профессиональной группе признаков:

$$\begin{aligned} \mu_u(z_1) &= URI_1(1) = \mu_u(YE); \\ \mu_u(z_2) &= \mu_u(YPH); \mu_u(z_3) = \mu_u(YUH); \\ \mu_u(z_4) &= \mu_u(UEI). \end{aligned}$$

Во вторую группу факторов риска заболевания и развития ИБС эксперты руководствовались рекомендациями работ [25; 26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34], в которые вошли признаки, характеризующие антиоксидантный статус организма и энергетический разбаланс биологически активных точек (БАТ), связанных с заболеванием сердца. Антиоксидантный статус организма определяется по показателям перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиокислительной активности (АОА). С учетом рекомендаций [25; 26] для этих показателей в качестве базовых переменных для соответствующих функций принадлежности $\mu_u(\delta x_{\Pi})$ и $\mu_u(\delta x_A)$ выбраны величины отклонения ПОЛ и АОА от их номинальных значений:

$$\delta x_{\Pi} = \frac{x_{\Pi}^N - x_{\Pi}^T}{x_{\Pi}^N} \cdot 100\%,$$

$$\delta x_{\Pi} = \frac{x_A^N - x_A^T}{x_A^N} \cdot 100\%,$$

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

Соответствующие функции принадлежности имеют вид

$$\mu_u(\delta x_{\Pi}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta x_{\Pi} < 10, \\ 0,005\delta x_{\Pi} - 0,005, & \text{если } 10 \leq \delta x_{\Pi} < 50, \\ 0,2, & \text{если } \delta x_{\Pi} \geq 50, \end{cases}$$

$$\mu_u(\delta x_A) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta x_A < 10, \\ 0,003\delta x_A - 0,003, & \text{если } 10 \leq \delta x_A < 60, \\ 0,15, & \text{если } \delta x_A \geq 60. \end{cases}$$

С учетом рекомендаций [27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34] в качестве информативных точек для класса ω_u были выбраны точки C4, C5, C7, C8, C9 с парой диагностически значимых точек (ДЗТ) C7, C9.

Энергетический разбаланс БАТ, «связанных» с сердечно-сосудистой системой, определяет выражение

$$\begin{aligned} &\text{Если } [(\delta R_{C7u} \delta R_{C9}) \geq 15\%], \\ &\text{то } \left[SRB = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 f_R(\delta R_j) \right] \\ &\text{иначе } (SRB = 0), \end{aligned}$$

где $f_R(\delta R_j)$ – нормирующая функция энергетического разбаланса для точки j с областью определения $[0, \dots, 1]$;

$$\delta R_1 = \delta R_{C4}; \quad \delta R_2 = \delta R_{C5}; \quad \delta R_3 = \delta R_{C7};$$

$$\delta R_4 = \delta R_{C8}; \quad \delta R_5 = \delta R_{C9}.$$

График ФП описывается выражением

$$\begin{aligned} \mu_n(SRB) = & \begin{cases} 0, & \text{если } SRB < 0,3, \\ 0,75SRB - 0,225, & \text{если } 0,3 \leq SRB < 0,7, \\ 0,3, & \text{если } SRB \geq 0,7. \end{cases} \end{aligned}$$

Аналогично (10), уверенность в ω_u по этой группе признаков определяется выражением

$$URI_2(p+1) = URI_2(p) + \mu_u(S_{i+1})[1 - URI_2(p)], \quad (11)$$

где $URI_2(1) = \mu_u(S_1) = \mu_u(\delta x_{\Pi})$; $\mu_u(S_2) = \mu_u(\delta x_A)$; $\mu_u(S_3) = \mu_u(SRB)$.

Для полученных составляющих модель для оценки уверенности в появлении и развитии ИБС имеет вид

$$URI = URI_1 + URI_2 - URI_1 \cdot URI_2. \quad (12)$$

На шкале URI получены ФП μ_o , μ_n , μ_p , μ_6 к классам «здоров и появление ИБС не ожидается», «здоров, но через прогнозируемое время ожидается появление ИБС», «ранняя стадия ИБС», «выявлено заболевание ИБС». Рассмотрим графики этих функций принадлежности (рис. 1).

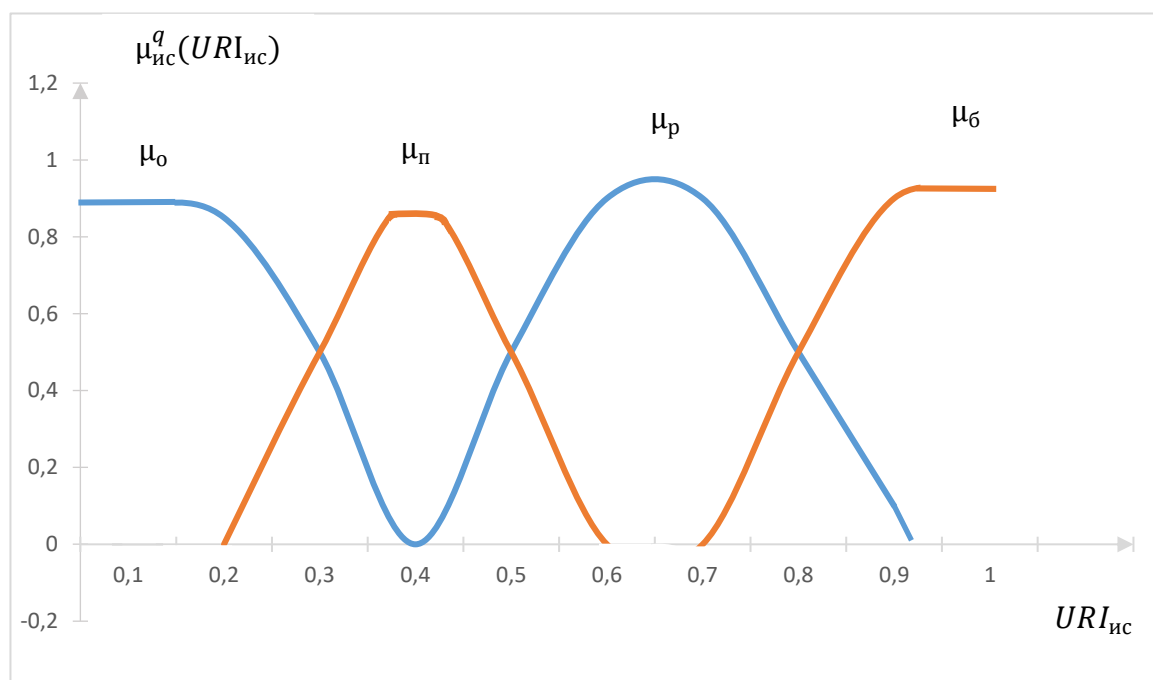


Рис. 1. Прогностические и диагностические функции принадлежности относительно ишемической болезни сердца (ИБС)

Fig. 1. Prognostic and diagnostic functions of belonging in relation to coronary heart disease (CHD)

Из рисунка 1 видно, что эксперты определили уверенность в правильной классификации на уровне 0,9. Этот же результат был подтвержден результатами статистических испытаний на репрезентативных контрольных выборках по показателям диагностической чувствительности и специфичности.

Выводы

Предложенный метод синтеза гибридных нечетких моделей позволяет синтезировать гибридные решающие правила, обеспечивающие повышение качества прогнозирования и ранней диагностики исследуемого класса заболева-

ний как при наличии обучающих выборок, так и при их отсутствии путем компенсации недостатка статистического материала методами формализации клинического мышления. В качестве конкретного примера решена задача прогнозирования и диагностики ишемической болезни сердца у машинистов электропоездов. В результате экспертного оценивания и статистических испытаний на репрезентативных контрольных выборках было показано, что уверенность в правильной классификации находится на уровне 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты к практическому использованию в профпатологии.

Список литературы

1. Оценка и управление состояния здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н. А. Корневский, А. Н. Шуткин, С. А. Горбатенко, В. И. Серебровский. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2016. 72 с.
2. Использование технологии мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография / Н. А. Корневский, В. И. Серебровский, Р. В. Степашов, Т. Н. Говорухина. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2016. 224 с.
3. Корневский Н. А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 2. С. 99–103.
4. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний в электроэнергетике на основе методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил: монография / В. И. Серебровский, М. А. Мясодедова, В. В. Серебровский [и др.]. Курск: Издательство Курской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. 285 с.
5. Корневский Н. А., Башир А. С., Горбатенко С. А. Синтез гибридных нечетких правил для прогнозирования, оценки и управления состоянием здоровья в экологически неблагоприятных регионах // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. № 4. С. 69–73.
6. Корневский Н. А., Родионова С. Н., Хрипина И. И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
7. Корневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем // Наукоемкие технологии. 2014. Т. 15, № 12. С. 31–40.
8. 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.
9. Экспертная система контроля состояния пациентов, контактирующих с промышленными ядохимикатами / С. А. Филист, Р. И. Сафронов, Л. В. Шульга, Г. В. Сипливый, Е. В. Крикунова, Н. А. Милостная // Медицинская техника. 2021. № 4. С. 30–32.

10. Экспертная система прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников электроэнергетики / Н. А. Корневский, Р. И. Сафронов, Л. В. Шульга, Г. В. Сипливый, Е. В. Крикунова // Медицинская техника. 2021. № 6. С. 48–51.

11. Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и ее влияние на состояние здоровья человека оператора с учетом функциональных резервов / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, Т. Н. Говорухина, М. А. Мясоедова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 1 (24). С. 39–53.

12. Assessment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models / N. A. Korenevsky, V. N. Gadalov, E. N. Korovin, V. I. Serebrovskiy // Biomedical Engineering November. 2013. Vol. 47, is. 4. P. 173–176.

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

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

15. Контроль динамики развития ишемических процессов в сердце по энергетическому разбалансу меридианных структур организма / Н. А. Корневский, И. Ю. Григоров, К. В. Разумова, В. А. Горбунов, В. В. Дмитриева, С. В. Дегтярев // Медицинская техника. 2020. № 1 (319). С. 47–49.

16. Синтез коллективов нечетких решающих правил для медицинских экспертных систем / Н. А. Корневский, И. И. Хрипина, А. Н. Шуткин, К. В. Разумова // Научная сессия НИЯУ МИФИ – 2015: тезисы доклада. М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2015. С. 64.

17. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, А. В. Поляков, Т. Н. Говорухина // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 4. С. 85–92.

18. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики / Н. А. Корневский, М. А. Мясоедова, К. В. Разумова, А. В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9, № 2 (31). С. 127–143.

19. Использование методологии синтеза коллективов гибридных нечетких моделей для решения задач оценки состояния и управления сложными биотехническими системами / Н. А. Корневский, Р. В. Степашов, А. Н. Шуткин, Е. В. Цимбыл, С. Н. Родионова,

Д. С. Родионов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2018. Т. 14, № 3. С. 593.

20. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно насыщенных систем / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, И. И. Хрипина, М. А. Мясоедова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2019. Т. 18, № 2. С. 105–109.

21. Оценка функционального состояния здоровья человека с использованием теории измерения латентных переменных на основе моделей Г. Раша / А. Н. Шуткин, Е. А. Бойцова, С. Н. Корневская, В. Я. Провоторов // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2014. Т. 13, № 4. С. 927–932.

22. Сафронов Р. И. Роль адаптационных механизмов в защите организма от производственных факторов риска // Биотехнология и биомедицинская инженерия: сборник научных трудов по материалам XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 87-летию Курского государственного медицинского университета (27 октября 2022 г.). Курск: Издательство Курского государственного медицинского университета Минздрава России, 2022. С. 183–186.

23. Сафронов Р. И., Крикунова Е. В. Оценка влияния условий труда на состояние здоровья человека по его адаптационным резервам и функциональному состоянию // Биотехнология и биомедицинская инженерия: сборник научных трудов по материалам XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 87-летию Курского государственного медицинского университета (27 октября 2022 г.). Курск: Издательство Курского государственного медицинского университета Минздрава России, 2022. С. 123–126.

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. 2022. № 3. С. 80–96.

25. Количественная оценка защитных механизмов организма по его оксидантному статусу / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, Е. В. Крикунова, Л. В. Стародубцева, М. В. Скиданчук // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2021. Т. 11, № 4. С. 146–162.

26. Метод определения уровня защиты организма по его оксидантному статусу в задачах оценки влияния производственных факторов риска на состояние здоровья / Н. А. Корневский, С. Н. Родионова, Л. В. Стародубцева, Н. А. Милостная, Е. Н. Корневская // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2022. Т. 21, № 3. С. 75–89.

27. Корневский Н. А., Крупчатников Р. А. Информационно-интеллектуальные системы для врачей рефлексотерапевтов: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 424 с.

28. 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.

29. Корневский Н. А., Крупчатников Р. А., Аль-Касасбех Р. Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2020. 528 с.

30. Bioengineering system for prediction and early prenosological diagnostics of stomach diseases based on energy characteristics of bioactive points with fuzzy logic / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. Alshamasin, D. Klionskiy // Biosensors and Bioelectronics. 2015. Vol. 6, N 4. P. 1–9.

31. Numerical software algorithms for monitoring control processes and correcting health by synthesis of hybrid fuzzy rules of decision-making on the basis of changes in energetic characteristics of biologically active points / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. S. Alshamasin, D. Klionskiy, F. Ionescu // International Journal of Modelling, Identification and Control. 2016. Vol. 25, N 2. P. 119–137.

32. Application of fuzzy analysis with the energy condition of bioactive points to the prediction and diagnosis of gastrointestinal tract diseases / R. T. Al-Kasasbeh, N. A. Korenevskiy, F. Ionescu, M. Alshamasin, A. P. Smith, A. Alwadie, S. Aljbour // International Journal of Biomedical Engineering and Technology. 2013. Vol. 11, N 2. P. 136–154.

33. A biotech measurement software system using controlled features for determining the level of psycho-emotional tension on man-machine system operators by bio-active points based on fuzzy logic measures / R. T. Al-Kasasbeh, M. A. A. Zaubi, N. Korenevskiy, F. Al-Shawawreh, M. S. Alshamasin, F. Ionescu // International Journal of Modelling, Identification and Control. 2014. Vol. 22, N 4. P. 375–395.

34. Bioengineering system for prediction and early prenosological diagnostics of stomach diseases based on energy characteristics of bioactive points with fuzzy logic / R. T. Al-Kasasbeh, N. Korenevskiy, M. Alshamasin, D. Klionskiy // Biosensors and Bioelectronics. 2015. Vol. 6, N 4. P. 1–9. <https://doi.org/10.4172/2155-6210.1000182>.

35. 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.

References

1. Korenevskij N. A., Shutkin A. N., Gorbatenko S. A., Serebrovskij V. I. Ocenka i upravlenie sostoyaniya zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij [Assessment and management of the health status of students based on hybrid intellectual technologies]. Staryj Oskol, Tonkie naukoemkie tekhnologii Publ., 2016. 472 p.
2. Korenevskij N. A., Serebrovskij V. I., Stepashov R. V., Govoruxina T. N. Ispol'zovanie tekhnologii myagkih vychislenij dlya prognozirovaniya i diagnostiki professional'nyh zabolevanij rabotnikov agropromyshlennogo kompleksa [Using Soft Computing Technology to Predict and Diagnose Occupational Diseases of Agro-Industrial Workers]. Kursk, Kursk State Agricultural Academy Publ., 2016. 224 p.
3. Korenevskij N. A. Metod sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem [Method for the synthesis of heterogeneous fuzzy rules for the analysis and control of the state of biotechnical systems]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitetyu. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 2, pp. 99–103.
4. Serebrovskij V. I., Myasoedova M. A., Serebrovskij V. V., eds. Prognozirovanie i rannaya diagnostika professional'nyh zabolevanij v elektroenergetike na osnove metodologii sinteza gibridnyh nechetkih reshayushchih pravil [Forecasting and early diagnosis of occupational diseases in the electric power industry based on the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules]. Kursk, Kursk State Agricultural Academy Publ., 2019. 285 p.
5. Korenevskij N. A., Bashir A. S., Gorbatenko S. A. Sintez gibridnyh nechetkih pravil dlya prognozirovaniya, ocenki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya v ekologicheskimi neblagopriyatnykh regionakh [Synthesis of hybrid fuzzy rules for forecasting, assessment and management of health in ecologically unfavorable regions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitetyu. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2013, no. 4, pp. 69–73.
6. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Xripina I. I. Metodologiya sinteza gibridnyh nechetkih reshayushchih pravil dlya medicinskih intellektual'nyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij [Methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent decision support systems]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2019. 472 p.
7. Korenevskij N. A., Razumova K. V. Sintez kolektivov gibridnyh nechetkih modelej ocenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of collectives of hybrid fuzzy models for assessing the state of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii = High-Tech Technologies*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 31–40.

8. Safronov R. I., Starodubceva L. V., Krikunova E. V. Perspektivy primeneniya myagkih vychislenij i informacionnyh tekhnologij v profpatologii [Prospects for the use of soft computing and information technologies in occupational pathology]. Kursk, Kursk State Agricultural Academy Publ., 2018. 232 p.

9. Filist S. A., Safronov R. I., Shul'ga L. V., Siplivij G. V., Krikunova E. V., Milostnaya N. A. Ekspertnaya sistema kontrolya sostoyaniya pacientov, kontaktiruyushchih s pro-myshlennymi yadodhimikatami [Expert system for monitoring the condition of patients in contact with industrial pesticides]. *Medicinskaya texnika = Medical Equipment*, 2021, no. 4, pp. 30–32.

10. Korenevskij N. A., Safronov R. I., Shul'ga L. V., Siplivij G. V., Krikunova E. V. Ekspertnaya sistema prognozirovaniya i diagnostiki professional'nyh zabolevanij rabotnikov elektroenergetiki [Expert system for predicting and diagnosing occupational diseases of electric power workers]. *Medicinskaya texnika = Medical Equipment*, 2021, no. 6, pp. 48–51.

11. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Govoruxina T. N., Myasoedova M. A. Nechetkie modeli ocenki urovnya ergonomiki tekhnicheskikh sistem i ee vliyanie na sostoyanie zdorov'ya cheloveka operatora s uchetom funkcional'nyh rezervov [Fuzzy models for assessing the level of ergonomics of technical systems and its impact on the state of human health of the operator, taking into account functional reserves]. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*, 2019, vol. 7, no. 1 (24), pp. 39–53.

12. Korenevsky N. A., Gadlov V. N., Korovin E. N., Serebrovskiy V. I. Assessment of Ergonomics of Biotechnical Systems Using Shortliffe Fuzzy Models. *Biomedical Engineering*, 2013, vol. 47, is. 4, pp. 173–176.

13. Al-Kasasbeh R. T., Alshamasin M. S., Korenevskiy N., Maksim I. Method of ergonomics assessment of technical systems and its influence on operators health on basis of hybrid fuzzy models. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2018, no. 590, pp. 581–592.

14. Al-Kasasbeh R. T., Alshamasin M. S., Korenevskiy N., Korenevskya S., Al-Kasasbeh E. T., Maksim I. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, no. 792, pp. 143–154.

15. Korenevskij N. A., Grigorov I. Yu., Razumova K. V., Gorbunov V. A., Dmitrieva V. V., Degtyarev S. V. Kontrol' dinamiki razvitiya ishemicheskikh processov v serdce po energeticheskomu razbalansu meridiannyh struktur organizma [Control of the dynamics of development of ischemic processes in the heart according to the energy imbalance of the meridian structures of the body]. *Medicinskaya tekhnika = Medical Technique*, 2020, no. 1 (319), pp. 47–49.

16. Korenevskij N. A., Hripina I. I., Shutkin A. N., Razumova K. V. [Synthesis of collectives of fuzzy decision rules for medical expert systems]. *Nauchnaya sessiya NIYAU MIFI –*

2015. *Tezisy doklada* [Scientific session of NRU MEPhI – 2015. Abstracts of the report]. Moscow, National Research Nuclear University "MEPhI", 2015, p. 64. (In Russ.)

17. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Polyakov A. V., Govoruhina T. N. Metod sinteza matematicheskikh modelej prognozirovaniya i rannej diagnostiki narushenij kognitivnykh funkciy [Method for synthesizing mathematical models of forecasting and early diagnosis of cognitive impairment]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2019, vol. 18, no. 4, pp. 85–92.

18. Korenevskij N. A., Myasoedova M. A., Razumova K. V., Serebrovskij A. V. Metod sinteza matematicheskikh modelej prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevanij rabotnikov predpriyatij elektroenergetiki [Method for synthesizing mathematical models for predicting and diagnosing occupational diseases of employees of electric power enterprises]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitetyu. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2019, vol. 9, no. 2 (31), pp. 127–143.

19. Korenevskij N. A., Stepashov R. V., Shutkin A. N., Cimbyl E. V., Rodionova S. N., Rodionov D. S. Ispol'zovanie metodologii sinteza kolektivov gibridnykh nechetkiy modelej dlya resheniya zadach ocenki sostoyaniya i upravleniya slozhnyimi biotekhnicheskimi sistemami [Using the methodology of synthesis of collectives of hybrid fuzzy models for solving problems of assessing the state and control of complex biotechnical systems]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2018, vol. 14, no. 3, pp. 593.

20. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Hripina I. I., Myasoedova M. A. Gibridnye nechetkie modeli ocenki funkcional'nogo sostoyaniya i sostoyaniya zdorov'ya cheloveka-operatora informacionno nasyshchennykh sistem [Hybrid fuzzy models for assessing the functional state and health status of a human operator of information-rich systems]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 105–109.

21. Shutkin A. N., Bojcova E. A., Korenevskaya S. N., Provotorov V. YA. Ocenka funkcional'nogo sostoyaniya zdorov'ya cheloveka s ispol'zovaniem teorii izmereniya latentnykh peremennykh na osnove modelej G. Rasha [Evaluation of the functional state of human health using the theory of measurement of latent variables based on G. Rasch models]. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 927–932.

22. Safronov R. I. [The role of adaptive mechanisms in protecting the body from industrial risk factors]. *Biotehnologiya i biomedicinskaya inzheneriya. Sbornik nauchnykh trudov po materialam XII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*,

posvyashchennoj 87-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta (27 oktyabrya 2022 g.) [Biotechnology and biomedical engineering. A collection of scientific papers based on the materials of the XII All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 87th anniversary of Kursk State Medical University (October 27, 2022)]. Kursk, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia Publ., 2022, pp. 183–186. (In Russ.)

23. Safronov R. I., Krikunova E. V. [Assessment of the impact of working conditions on the state of human health in terms of its adaptive reserves and functional state]. *Biotekhnologiya i biomedicinskaya inzheneriya. Sbornik nauchnyh trudov po materialam XII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 87-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta (27 oktyabrya 2022 g.)* [Biotechnology and biomedical engineering. A collection of scientific papers based on the materials of the XII All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 87th anniversary of Kursk State Medical University (October 27, 2022)]. Kursk, Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia Publ., 2022, pp. 123–126. (In Russ.)

24. Korenevskij N. A., Aksenov V. V., Rodionova S. N., Gontarev S. N., Lazurina L. P., Safronov R. I. Metod kompleksnoj ocenki urovnya informativnosti klassifikacionnyh priznakov v usloviyah nechetkoj struktury dannyh [A 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 universitetyu. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2022, no. 3, pp. 80–96.

25. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Starodubceva L. V., Skidanchuk M. V. Kolichestvennaya ocenka zashchitnyh mekhanizmov organizma po ego oksidant-nomu statusu [Quantitative assessment of the body's defense mechanisms according to its oxidative status]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universitetyu. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 146–162.

26. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Starodubceva L. V., Milostnaya N. A., Korenevskaya E. N. Metod opredeleniya urovnya zashchity organizma po ego oksidantnomu statusu v zadachah ocenki vliyaniya proizvodstvennyh faktorov riska na sostoyanie zdorov'ya [Method for determining the level of protection of the organism by its oxidative status in the tasks of assessing the impact of occupational risk factors on the state of health]. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah = System Analysis and Management in Biomedical Systems*, 2022, vol. 21, no. 3, pp. 75–89.

27. Korenevskij N. A., Krupchatnikov R. A. Informacionno-intellektual'nye sistemy dlya vrachej refleksoterapevtov [Information and intellectual systems for reflexologists]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2013. 424 p.

28. Korenevskij N. A., Rodionova S. N., Krikunova E. V., Safronov R. I., Belozarov V. A. Metody kolichestvennoj ocenki zashchitnyh mekhanizmov organizma na razlichnyh ego urovnjah na osnove gibridnyh nechetkih modelej i ih ispol'zovanie v zadachah prognozirovaniya i medicinskoj diagnostiki [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]. *Medicinskaya tekhnika = Medical Technique*, 2022, no. 3 (333), pp. 24–27.

29. Korenevskij N. A., Krupchatnikov R. A., Al-Kasasbekh R. T. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s prilozheniyami v medicine, psihologii i ekologii na osnove nechetkih setevykh modelej [Theoretical foundations of the biophysics of acupuncture with applications in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network models]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2020. 528 p.

30. Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N., Alshamasin M., Klionskiy D. Bioengineering system for prediction and early prenosological diagnostics of stomach diseases based on energy characteristics of bioactive points with fuzzy logic. *Biosensors and Bioelectronics*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 1–9.

31. Al-Kasasbeh R.T., Korenevskiy N., Alshamasin M. S., Klionskiy D., Ionescu F. Numerical software algorithms for monitoring control processes and correcting health by synthesis of hybrid fuzzy rules of decision-making on the basis of changes in energetic characteristics of biologically active points. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 119–137.

32. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N. A., Ionescu F., Alshamasin M., Smith A. P., Alwadie A., Aljbour S. Application of fuzzy analysis with the energy condition of bioactive points to the prediction and diagnosis of gastrointestinal tract diseases. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 2013, vol. 11, no. 2, pp. 136–154.

33. Al-Kasasbeh R. T., Zaubi M. A. A., Korenevskiy N., Al-Shawawreh F., Alshamasin M. S., Ionescu F. A biotech measurement software system using controlled features for determining the level of psycho-emotional tension on man-machine system operators by bio-active points based on fuzzy logic measures. *International Journal of Modelling, Identification and Control*, 2014, vol. 22, no. 4, pp. 375–395.

34. Al-Kasasbeh R. T., Korenevskiy N., Alshamasin M., Klionskiy D. Bioengineering system for prediction and early prenosological diagnostics of stomach diseases based on energy characteristics of bioactive points with fuzzy logic. *Biosensors and Bioelectronics*, 2015, vol. 6, no. 4, pp. 1–9. <https://doi.org/10.4172/2155-6210.1000182>

35. Korenevskij N. A., Grigorov I. Yu., Govoruhina T. N., Krupchatnikov R. A. Metod sinteza nechetkih modelej i rannej diagnostiki professional'nyh zabolevanij rabotnikov

Информация об авторах / Information about the Authors

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: 0000-0003-0966-6514

Ruslan I. Safronov, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Department
of Electrical Engineering and Power Engineering,
Kursk State Agrarian University named
after I. I. Ivanova, Kursk, Russian Federation,
e-mail: russafronov@yandex.ru,
ORCID: 0000-0003-0966-6514

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

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

Рыбаков Антон Юрьевич, аспирант кафедры
биомедицинской инженерии, Юго-Западный
государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: rybakov.ay@novomor.org,
ORCID: 0000-0001-5821-611X

Anton Y. Rybakov, Post-Graduate Student
of the Department of Biomedical Engineering,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: rybakov.ay@novomor.org,
ORCID: 0000-0001-5821-611X

Лях Антон Викторович, аспирант кафедры
биомедицинской инженерии, Юго-Западный
государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru,
ORCID: 0000-0001-8388-9586

Anton V. Lyakh, Post-Graduate Student
of the Department of Biomedical Engineering,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru,
ORCID 0000-0001-8388-9586