

УДК 616.5-002

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.30.3.034](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.034)

Прогнозирование ишемической болезни сердца у работников локомотивных бригад на основе гибридных нечетких моделей

Н.А. Корневский, Д.А. Медников, С.Н. Родионова, В.В. Стародубцев

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»,
Курск, Российская Федерация*

Резюме. Целью исследования является повышение качества прогнозирования ишемической болезни сердца у работников локомотивных бригад железнодорожного транспорта за счет разработки гибридных нечетких математических моделей работающих в условиях неполного и нечеткого описания объекта исследования. С учетом плохоформализуемой структуры исследуемого класса состояний в качестве базового математического аппарата выбрана технология мягких вычислений и, в частности, методология синтеза гибридных нечетких решающих правил, хорошо зарекомендовавшая себя при решении задач с аналогичной структурой данных и типом неопределенности. Выбранный метод синтеза позволяет учитывать мультипликативный эффект воздействия на организм человека разнородных и нестабильных эндогенных и экзогенных факторов риска в кабинах локомотива. Полученные математические модели прогнозирования ишемической болезни сердца, у работников локомотивных бригад в качестве исходных данных учитывают эргономику кабины, уровни психоэмоционального напряжения и утомления, смешанные электромагнитные поля в сочетании с индивидуальными факторами риска системного ишемического поражения. В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что полученная прогностическая модель обеспечивает уверенность в правильном прогнозе не ниже 0,89, что является достаточно «хорошим» результатом для задач медицинской диагностики.

Ключевые слова: математическая модель, нечеткая логика, прогнозирование, локомотивная бригада, ишемическая болезнь сердца.

Для цитирования: Корневский Н.А., Медников Д.А., Родионова С.Н., Стародубцев В.В. Прогнозирование ишемической болезни сердца у работников локомотивных бригад на основе гибридных нечетких моделей. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2020;8(3). Доступно по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/KorenevskySoavtors_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.034

Predicting coronary heart disease in locomotive crew employees based on hybrid fuzzy models

N.A. Korenevsky, D.A. Mednikov, S.N. Rodionova, V.V. Starodubtsev

Southwest state University, Kursk, Russian Federation

Abstract: The aim of the study is to improve the quality of predicting coronary heart disease in railway locomotive crews by developing hybrid fuzzy mathematical models that work under conditions of incomplete and fuzzy description of the object of research. Taking into account the poorly formalized structure of the studied class of States, the technology of soft computing and, in particular, the methodology for the synthesis of hybrid fuzzy decision rules, which has proven itself well in solving problems with a similar data structure and type of uncertainty, is chosen as the basic mathematical apparatus. The chosen synthesis method allows us to take into account the multiplicative effect of heterogeneous and unstable endogenous and exogenous risk factors on the human body in the locomotive cabs. The obtained

mathematical models for predicting ischemic heart disease in locomotive crew workers take into account cabin ergonomics, levels of psycho-emotional stress and fatigue, mixed electromagnetic fields in combination with individual risk factors for systemic ischemic damage as initial data. In the course of mathematical modeling and expert evaluation, it was shown that the obtained predictive model provides confidence in the correct forecast of at least 0.89, which is a fairly "good" result for medical diagnostics tasks.

Keywords: mathematical model, fuzzy logic, forecasting, locomotive crew, coronary heart disease.

For citation: Korenevsky N.A., Mednikov D.A., Rodionova S.N., Starodubtsev V.V. Predicting coronary heart disease in locomotive crew employees based on hybrid fuzzy models. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(3). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/08/KorenevskySoavtors_3_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.034 (In Russ).

Введение

Изучение факторов риска и структуры заболеваемости работников локомотивных бригад железнодорожных составов показывает, что к наиболее распространенным профессиональным заболеваниям относят болезни сердечно-сосудистой системы, особенно гипертоническую болезнь (ГБ) и ишемическую болезнь сердца (ИБС) [1,2,3,4].

С учетом широкой распространенности и негативных последствий от этих заболеваний среди работников железнодорожного транспорта и в частности в локомотивных бригадах разработка новых методов и средств, снижающих риск появления и развития (ИБС) у исследуемой категории пациентов является актуальной задачей.

Анализ структуры факторов риска и прогнозируемого класса состояний (класс ω_{II} - прогноз появления и развития ИБС у работников локомотивных бригад) показал, что выбранная в работе задача относится к классу плохоформализуемых задач, которые целесообразно решать с использованием технологии мягких вычислений. Опыт решения задач с аналогичной структурой данных и классов состояний накопленный на кафедре биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета показал, что хороших показателей качества прогнозирования при приемлемых медико-технологических затратах удастся достичь при использовании методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил достаточно-подробно описанной в работах [5,6,7,8,9].

Методы исследования

Выбранная в работе методология синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) основана на использовании набора методов синтеза нечетких моделей принятия решений каждый из которых адаптирован на «свою» структуру данных [5,6,10,11]:

- нечеткая модификация последовательной процедуры А.Вальда;
- нечеткая модификация метода динамического конструирования двумерных отображающих пространств;
- нечеткие описания линейных и нелинейных разделяющих гиперповерхностей;
- метод аппроксимации исследуемых классов состояний нечеткими многомерными гиперпараллелипипедами;
- модели оценки уверенности Е. Шортлифа, с включением в их состав элементов, получаемых на основе рассуждений Л. Заде;
- нечеткой модификации группового учета аргументов (МГУА);
- нечеткая модификация теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша.

В качестве базовых элементов частных решающих правил используются: функции принадлежности $\mu_{\omega_i}(x_i)$ к исследуемым классам состояний ω_i с базовой переменной x_i (информативные признаки, комплексные показатели, числовые шкалы, вычисляемые по другим базовым переменным и т.д.); коэффициенты уверенности КУ ω_i в событии ω_i ; $US_i(r)$ - уверенность в ω_i от параметра r и др.

Правила выбора методов, моделей и способов их агрегации в частные и финальные решающие правила в рамках МСГНРП описаны в работах [5,6,10].

Дополнительным достоинством МСГНРП является то, что с ее использованием получен ряд надежно работающих математических моделей, позволяющих получать количественные характеристики существенных факторов риска, провоцирующих появление и развитие ИБС у работников локомотивных бригад: уровень эргономичности кабины транспортных средств (YE) [12,13,14,15], уровень длительного психоэмоционального напряжения (YRH) [5,6,16,17,18,19,20]; уровень хронического утомления (YUH) [5,6,21,22]; уровень электромагнитного излучения (UEI) [23,24,25]. С использованием МСГНРП на кафедре биомедицинской инженерии ЮЗГУ были проведены исследования в области системного ишемического поражения организма в ходе которого был получен ряд комплексных показателей обладающих высокой информативностью по отношению к прогнозу возникновения и развития ИБС: степень тяжести развития системного ишемического процесса STSI; показатель степени риска развития ИБС по группе гемодинамических показателей (SR); показатель перикисного окисления липидов (ПОЛ); показатель антиокислительной активности (АОА), показатель степени риска появления и развития ИБС по энергетическому разбалансу биологически активных точек (БАТ), «связанных» с заболеванием сердца (SRB) [26,27,28,29,30,31,32].

Таким образом, в рамках МСГНРП получен набор информативных показателей необходимых для решения задачи прогнозирования ИБС, который в ходе проводимых исследований был минимизирован с использованием теории измерения латентных переменных адаптированной под нечеткую логику принятия решений [5,6,33,34,35,36].

Результаты

Используя общие рекомендации МСГНРП, в ходе получения искомой прогностической модели с участием высококвалифицированных экспертов, были получены функции принадлежности к классу высокий риск появления и развития ИБС (класс ω_H), которые агрегировались в соответствующие гибридные нечеткие решающие правила. Для группы производственных факторов риска (показатели YE, YRH, YUH, UEI) показатель уровня эргономичности YE определялся по методу нечеткой оценки уровня эргономичности технических систем описанному в работах [12,13,14,15].

Применительно к кабине локомотива этот показатель определяется с учетом температурного режима (TEMP); рабочей позы (RP); уровня загазованности (UZK); уровня вибрации (UWB); уровня нагрузки на сенсорные системы (UNSS); уровня нагрузки на центральную нервную систему (UNZNS); уровня шума (USCH). По этим показателям эксперты в соответствии с рекомендациями [12,13,14] построили нечеткую таблицу определения YE для которой была получена функция принадлежности к классу ω_H с базовой переменной YE:

$$\mu_H(YE) = \begin{cases} 0,25, & \text{если } YE < 0,2; \\ -0,5 YE + 0,35, & \text{если } 0,2 \leq YE < 0,7; \\ 0, & \text{если } YE \geq 0,7. \end{cases}$$

Для показателей хронического психоэмоционального напряжения (YPH) [5,6,16,17,18,19] и хронического утомления (YUH) [5,6,21,22] эксперты получили графики функций принадлежности приведенные на Рисунок 1.

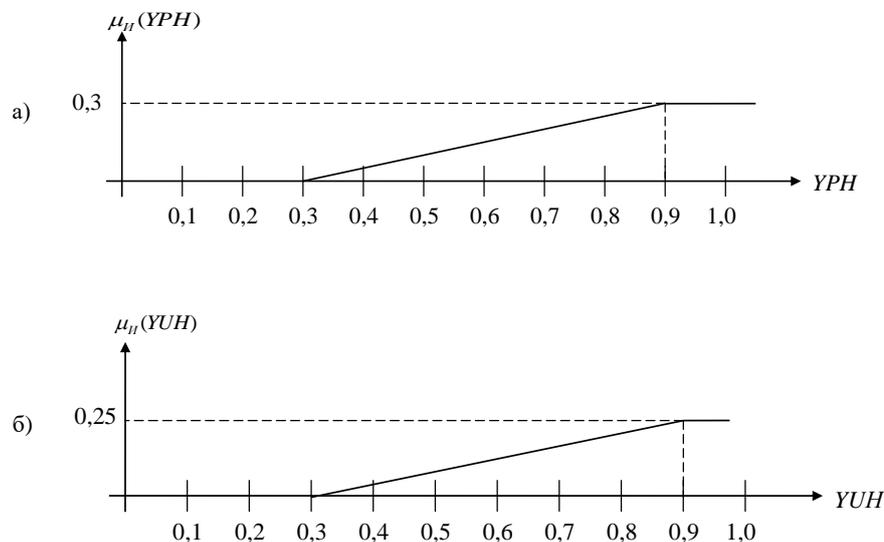


Рисунок 1 – Графики функций принадлежности к классу ω_{II} с базовыми переменными: а) YPH; б) YUH

Figure 1 – Graphs of functions belonging to the class ω_{II} with the basic variables: а) YPH; б) YUH

Аналитически графики приведенные на Рисунке 1 описываются выражениями:

$$\mu_{II}(YPH) = \begin{cases} 0, & \text{если } YPH < 0,2; \\ -0,43 YPH - 0,086, & \text{если } 0,2 \leq YPH < 0,9; \\ 0,3 & \text{если } YPH \geq 0,9 \end{cases}$$

$$\mu_{II}(YUH) = \begin{cases} 0, & \text{если } YUH < 0,3; \\ -0,42 YUH - 0,125, & \text{если } 0,3 \leq YUH < 0,9; \\ 0,25 & \text{если } YUH \geq 0,9 \end{cases}$$

Анализ литературы и собственные исследования показали, что основной мишенью ЭМП частотного диапазона характерного для кабины электровоза являются нервная и сердечно-сосудистая системы, причем на данном этапе исследований оценить влияние различных частотных составляющих на организм человека не представляется возможным.

В данном исследовании эксперты, оценивая реальные возможности по изучению влияния ЭМП на состояние здоровья машинистов электропоездов различных частотных составляющих, приняли решение строить функции принадлежности к классу риск появления и развития ИБС (ω_{II}) по комбинированному воздействию радиочастот малой интенсивности и электромагнитных полей питающей сети [24,25].

Результаты работы экспертов по оценке степени уверенности по значениям функции принадлежности в появлении и развитии ИБС ω_{II} под воздействием комбинированных

ЭМП на машинистов электропоезда в зависимости от стажа работы приведены в Таблице 1.

Таблица 1 - Экспертная оценка величины функции принадлежности $\mu_H(t_p)$ в зависимости от стажа работы

Table 1 – Expert evaluation of the membership function value $\mu_H(t_p)$ depending on the length of service

График функции принадлежности к классу ω_H , построенный по усредненным значениям мнений экспертов приведен на рис. 2.

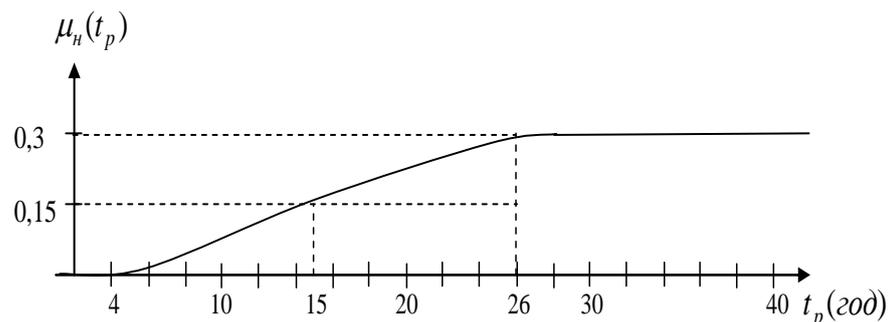


Рисунок 2 - График функции принадлежности $\mu_H(t_p)$ с базовой переменной стаж работы

Figure 2 – Schedule of membership function $\mu_H(t_p)$ with a base variable

Аналитически график, приведенный на рисунке 2, описывается выражением:

$$\mu_H(t_p) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_p < 4; \\ 0,00124 (t_p - 4)^2, & \text{если } 4 \leq t_p < 15; \\ 0,3 - 0,00124 (t_p - 26)^2, & \text{если } 15 \leq t_p < 26; \\ 0,3, & \text{если } t_p \geq 26. \end{cases}$$

Анализ «поведения» полученных функций принадлежности по отношению к классу ω_H показал, что их рост приводит к росту уверенности в прогнозе по классу ω_H . Поэтому в соответствии с общими рекомендациями МСГНПП в качестве агрегирующей функции для этой группы предикторов была выбрана модифицированная функция Е.Шортлифа [5,6]:

$$URI_1(q+1) = URI_1(q) + \mu_H(Z_{i+1})[1 - URI_1(q)]; \quad (1)$$

где URI_1 уверенность в ω_H по профессиональной группе признаков:
 $\mu_H(Z_1) = URI_1(1) = \mu_H(YE)$; $\mu_H(Z_2) = \mu_H(YPH)$; $\mu_H(Z_3) = \mu_H(YUH)$;
 $\mu_H(Z_4) = \mu_H(t_p)$.

Экспертное оценивание и результаты математического моделирования показали, что для наиболее часто встречающихся значений этой группы факторов риска уверенность в правильном прогнозе превышает величину 0,75.

По второй группе факторов риска появления и развития ИБС эксперты руководствовались рекомендациями работ доктора А.В. Быкова [26,27,28,29,30,31].

В результате синтеза частных решающих правил в соответствии с рекомендациями [26,27,28] были получены следующие модели.

По показателю степени тяжести системного ишемического процесса STSI формула расчета которого приведена в работах [26,29,30] функция принадлежности к классу ω_{II} имеет вид:

$$\mu_{II}(STSI) = \begin{cases} 0, & \text{если } STSI < 0,3; \\ 0,125 STSI - 0,3375, & \text{если } 0,3 \leq STSI < 0,7; \\ 0,45, & \text{если } STSI \geq 0,7 \end{cases}$$

В соответствии с рекомендациями [26] в качестве показателей характеризующих гемодинамику сердца (SR) и определяющих риск развития ИБС выбраны: X_1 – амплитуда Т-зубца; X_2 – смещение сегмента ST относительно изолинии; X_3 – концентрация креатинфосфокиназы; X_4 – концентрация тропанит Т.

В работе [26] приводится модель расчета показателя SR используя которую как базовую переменную эксперты получили функцию принадлежности к классу ω_{II} :

$$\mu_{II}(SR) = \begin{cases} 0, & \text{если } SR < 0,3; \\ 0,75 SR - 0,225, & \text{если } 0,3 \leq SR < 0,7; \\ 0,3, & \text{если } SR \geq 0,7 \end{cases}$$

В соответствии с рекомендациями [26] для построения функций принадлежности к классу «высокий риск развития ИБС» по показателям перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиокислительной активности (АОА) в качестве базовых переменных определены величины отклонения ПОЛ и АОА от их номинальных значений. То есть:

$$\delta x_{II} = \frac{x_{II}^H - x_{II}^T}{x_{II}^H} 100\% , \quad \delta x_A = \frac{x_A^H - x_A^T}{x_A^H} 100\% .$$

По этим показателям получены функции принадлежности вида:

$$\mu_{II}(\delta x_{II}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta x_{II} < 10; \\ 0,005 \delta x_{II} - 0,05, & \text{если } 10 \leq \delta x_{II} < 50; \\ 0,2, & \text{если } \delta x_{II} \geq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{II}(\delta x_A) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta x_A < 10; \\ 0,003 \delta x_A - 0,03, & \text{если } 10 \leq \delta x_A < 60; \\ 0,15, & \text{если } \delta x_A \geq 60 \end{cases}$$

Учитывая доказанную эффективность энергетических характеристик биологически активных точек в решении задач прогнозирования и ранней диагностики различных заболеваний, включая сердечно-сосудистую патологию было принято решение в качестве прогностических признаков использовать БАТ «связанные» с сердечно-сосудистой системой.

В соответствии с рекомендациями [31,37,38,39,40,41] в качестве информативных точек для класса ω_{II} были выбраны точки С4, С5, С7, С8, С9 с парой диагностически значимых точек (ДЗТ) С7, С9.

Энергетический разбаланс БАТ «связанных» с сердечно-сосудистой системой в соответствии с рекомендациями [31,37,38] определяется выражением:

$$\text{ЕСЛИ } [(\delta R_{C7} \text{ И } \delta R_{C9}) \geq 15\%] \text{ ТО } \left[\text{SRB} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 f_R(\delta R_j) \right] \text{ ИНАЧЕ } (\text{SRB} = 0),$$

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

$$\delta R_1 = \delta R_{C4}; \delta R_2 = \delta R_{C5}; \delta R_3 = \delta R_{C7}; \delta R_4 = \delta R_{C8}; \delta R_5 = \delta R_{C9}.$$

Функция принадлежности к классу ω_{II} по энергетической реакции БАТ описывается выражением:

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

Аналогично (1) уверенность в ω_{II} по этой группе предикторов определяется выражением:

$$URI_2(p+1) = URI_2(p) + \mu_{II}(S_{i+1})[1 - URI_2(p)]; \quad (2)$$

$$\text{где } URI_2(1) = \mu_{II}(S_1) = \mu_{II}(STSI); \quad \mu_{II}(S_2) = \mu_{II}(SR); \quad \mu_{II}(S_3) = \mu_{II}(\delta x_{II});$$

$$\mu_{II}(S_4) = \mu_{II}(\delta x_A); \quad \mu_{II}(S_5) = \mu_{II}(SRB) /$$

Результаты экспертного оценивания и математического моделирования показали, что для наиболее часто встречающихся значений предикторов модель (2) обеспечивает прогностическую уверенность выше 0,85.

В соответствии с рекомендациями [5,6] прогностическая модель:

$$URI = URI_1 + URI_2 - URI_1 \cdot URI_2 \quad (3)$$

Математическое моделирование показало, что показатель URI обеспечивает прогностическую уверенность выше 0,9, что является хорошим результатом для прогностических моделей.

Заключение

В ходе проведенных исследований определены факторы риска способствующие появлению и развитию профессиональных заболеваний работников локомотивных бригад. На основе анализа структуры данных для решения поставленных в работе задач обосновано применение методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил. Используя эту методологию, получена гибридная нечеткая модель прогнозирования и развития ишемической болезни сердца, агрегирующая производственные факторы риска с другими существенными эндогенными и экзогенными факторами, обеспечивающая прогностическую уверенность не хуже 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику работы врачей обслуживающих работников железнодорожного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капцов В.А., Панкова В.Б., Кутовой В.С.. Основные факторы профессионального риска у работников железнодорожного транспорта. . *Гигиена и санитария*. – 2001;1:38-43.
2. Пономаренко А.Н., Факторы формирования хронических заболеваний у железнодорожников .А.Н. Пономаренко, В.А. Лисобей . *Актуальные проблемы транспортной медицины*. 2010;2 (20):10-15.
3. Фадеев Г.М. Человек в транспортной среде при интенсивных технологиях . *Актуальные вопросы железнодорожной медицины*. М. 2003-2004;6-7:12-15.
4. Цфасман А.З. Железнодорожная клиническая медицина. Профессиональные болезни. М.:РАПС. 2000:336.

5. Корневский, Н.А. *Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений*: монография / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, И.И. Хрипина. Старый Оскол: ТНТ, 2019.
6. Корневский Н.А. *Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий*: монография / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016.
7. Корневский Н.А. Гибридные нечеткие модели оценки функционального состояния и состояния здоровья человека-оператора информационно-насыщенных систем. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2019;18(2):105-109.
8. Корневский Н.А. Методология синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2013:99-103.
9. Корневский, Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики. / Н.А. Корневский . *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. – 2005;4, (1):12-20.
10. Korenevskiy, N. A., Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in MedicalExpert Systems [Text] / N. A.Korenevskiy . *Biomedical Engineering* May 2015, Volume 49, Issue, pp. 46-49.
11. Korenevskiy N. A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. *Biomedical Engineering Journal*, V. 42, no. 2, pp. 67-72.
12. Корневский Н.А. 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;1. [электронный ресурс] <https://moit.vivt.ru>.
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;590:581-592.
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;792:143-154.
15. Корневский Н.А. Использование нечетких классификационных моделей для оценки эргономики технических систем / Н.А. Корневский, С.А. Горбатенко, В.В. Руденко, А.В. Бойцов . *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2012; 4:20-21.
16. Конева Л.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека / Л.В. Конева, С.Н. Корневская, С.В. Дегтярев . *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*, 2012;11,(4):993-1000.
17. Шуткин, А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша / А.Н. Шуткин . *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*.2014;14(3):593-600.
18. Korenevskiy N. A. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / N. A. Korenevskiy, R. T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A. P. Smith . *IFMBE Proceedings*, 2013, V. 40, IFMBE, P. 213-216.
19. N. Korenevskiy, RiadTaha Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, Anrew P. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional. “Mega-Conference on *Biomedical Engineering*” Proceedings of the 4th-international conferecejn the develjpmnt of biomedical engineering Ho Chi Minh City Vietnam January 8-12, 2012, p. 354-357.

20. Шуткин А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша / А.Н. Шуткин . *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2014;14(3):593-600.
21. Шуткин, А.Н. Использование гибридных нечетких моделей для оценки степени утомления/А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, С.Н. Кореневская. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*.2015;2(15):107-118.
22. Шуткин, А.Н. Оценка уровня утомления с использованием теории измерения латентных переменных/ А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, Л.В. Стародубцева. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2015;3(14):553 - 561.
23. Корневский Н.А. 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;2:127-143.
24. Мясоедова М.А. *Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний работников электроэнергетической отрасли на основе гибридных нечетких моделей*. Дисс. канд. техн. наук. Курск. 2019.
25. Мясоедова, М.А., Корневский Н.А., Стародубцева Л.В., Писарев М.В. Математические модели оценки влияния электромагнитных полей на появление и развитие профессиональных заболеваний в электроэнергетической отрасли. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(2):27-42.
26. Бокерия Л.А., Быков А.В., Корневский Н.А. *Оптимизация ведения пациентов с мультицентричным ишемическим поражением на базе интеллектуальных технологий монография*.- Старый Оскол: ТНТ, 2019.
27. Емельянов С.Г., Корневский Н.А., Быков А.В. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2016;9:4-9.
28. Быков А.В. Прогнозирование развития критического состояния кровообращения сердца на основе нечетких моделей. *Известия Юго-Западного государственного университета. – Серия управление. Вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2018;8(1):55-66.
29. Быков А.В., Корневский Н.А., Бойцова Е.А. Метод оценки функционального состояния центральной гемодинамической системы. *Известия Юго-Западного государственного университета. – Серия управление. Вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2017;7(3):66-77.
30. Быков А.В. Метод и нечеткая модель оценки степени тяжести ишемической болезни центральной гемодинамической системы. *Вестник новых медицинских технологий*. 2017;24,(4):144-150.
31. Быков А.В. Формирование пространства информативных признаков для оценки состояния пациентов с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей .А.В. Быков . *Известия Юго-Западного государственного университета. – Серия управление. Вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2018;1(26):97-108.
32. Корневский Н.А. Контроль динамики развития ишемических процессов в сердце по энергетическому разбалансу меридианных структур. Н.А. Корневский, И.Ю. Григоров, К.В. Разумова, В.А. Горбунов, Дмитриева, Дегтярев С.В. . *Медицинская техника – 2020*;1:47-50.

33. Корневский, Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья на основе моделей Г.Раша / Н.А. Корневский, А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, В.В. Дмитриев / *Медицинская техника*. 2015;6:37-40.
34. Корневский, Н.А. Использование теории измерения латентных переменных для оценки уровня психоэмоционального напряжения/Н.А. Корневский, А.В. Бойцов, А.Н. Шуткин, Е.А. Бойцова, Е.Н. Корневская . *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2015;3(16):103-118.
35. Маслак А.А. *Измерение латентных переменных в социально-экономических системах*: Монография.- Славянск-на-Кубани: Изд.Центр СГПИ. 2006:333.
36. *Getting Started RUMM 2010*. RaschUnidimensional Measurement Models.-Pert: RUMM Laboratory Ltd. 2001: 87.
37. Корневский, Н.А. *Информационно-интеллектуальные системы для врачей рефлексотерапевтов*: монография / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников. – Старый Оскол: ТНТ, 2013:424.
38. Корневский, Н.А. *Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей* / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, Р.Т. Аль-Касасбех.- Старый Оскол: ТНТ, 2013:528.
39. Корневский, Н.А. Метод прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний по энергетическому разбалансу меридианных структур организма/ Н.А. Корневский, И.Ю. Григоров, К.В. Разумова . *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2019;9(2):75-90.
40. Корневский, Н.А. Синтез прогностических и диагностических нечетких решающих правил по электрическим характеристикам проекционных зон для медико-экологических приложений [Текст] / Н.А. Корневский, В.А. Буняев, Р.А. Крупчатников . *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2009;4:39-46.
41. Al-Kasasbeh, R.T., Korenevskiy N.A., Alshamasin M., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*. 2013;16(3):301-313.

REFERENCES

1. Kaptsov V. A., Pankova V. B., Kutovoy V. S. the Main factors of professional risk for railway transport workers // *Hygiene and sanitation*. – 2001;1:38-43.
2. Ponomarenko A. N., Factors of formation of chronic diseases in railway workers [Text]/ A. N. Ponomarenko, V. A. Lisobey . *Current problems of transport medicine*. 2010;2 (20):10-15.
3. Fadeev G. M. Man in the transport environment with intensive technologies . Topical issues of railway medicine. M. 2003-2004;6-7: 12-15.
4. Tsfasman A. Z. Railway clinical medicine. Occupational diseases. M.: RPSD. 2000: 336.
5. Korenevsky, N. A. *Methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision rules for medical intelligent systems of prityanii decision support: monograph* / N. A. Korenevsky, S. N. Rodionova, I. I. Khripina. Stary Oskol: TNT, 2019: 472.
6. Korenevsky N. A. *Assessment and management of students ' health on the basis of hybrid intellectual technologies: monograph* / N. A. Korenevsky, A. N. Shutkin, S. A. Gorbatenko, V. I. Serebrovsky. - Stary Oskol: TNT. 2016: 472.
7. Korenevsky N. A. Hybrid fuzzy models for evaluating the functional state and health of a human operator of information-rich systems. *System analysis and management in biomedical systems*. 2019;18(2):105-109.

8. Korenevsky N. A. Methodology of synthesis of heterogeneous fuzzy rules for analysis and control of the state of biotechnical systems. Proceedings of Southwestern state University. Series: Management, computer engineering, computer science. *Medical instrumentation*. 2013;2:99-103.
9. Korenevsky, N. A. Design of fuzzy decision networks, configurable by data structure for medical diagnostics tasks. / N. A. Korenevsky // *System analysis and management in biomedical systems*. – 2005;4(1): 12-20.
10. Korenevsky, N. A., Application of Fuzzy Logic for Decision-Making in Medical Expert Systems [Text] / N. A. Korenevskiy . *Biomedical Engineering* May 2015; 49: 46-49.
11. Korenevsky N. A., Krupchatnikov R.A., Gorbatenko S.A. Generation of fuzzy network models taught on basic of data structure for medical expert systems. *Biomedical Engineering Journal*, V. 42; 2: 67-72.
12. Korenevsky N. A. Fuzzy models for evaluating the level of ergonomics of technical systems and its impact on the health of the operator, taking into account functional reserves / N. A. Korenevsky, S. N. Rodionova, T. N. Govorukhina, M. A. Myasoedova, // *Modeling, optimization and information technologies*. – 2019;1, [electronic resource] <https://moit.vivt.ru>.
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;590:581-592.
14. Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M.S., Korenevskiy N., Korenevskaya S., Al-Kasasbeh E.T., Maksim I. Fuzzy model evaluation of vehicles ergonomics and its influence on occupational diseases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019;792:143-154.
15. Korenevsky N. A. Use of fuzzy classification models for evaluating the ergonomics of technical systems / N. A. Korenevsky, S. A. Gorbatenko, V. V. Rudenko, A.V. Boytsov . *News of Southwestern state University*. 2012;4: 20-21.
16. Koneva L. V. Assessment of the level of psychoemotional stress and fatigue by indicators that characterize the state of human attention / L. V. Koneva, S. N. Korenevskaya, S. V. Degtyarev . *System analysis and management in biomedical systems*, 2012;11(4):993-1000.
17. Shutkin, A. N. Assessment of the level of psycho-emotional stress on the basis of combined fuzzy models and the model of G. rush / A. N. Shutkin . *System analysis and management in biomedical systems*. 2014;14(3): 593-600.
18. Korenevsky N. A. *Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional* / N.A. Korenevskiy, R.T. Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, E. Alkasasbeh, A.P. Smith . 2013; 40: 213-216.
19. N. Korenevsky, RiadTaha Al-Kasasbeh, F. Ionescou, M. Alshamasin, Anrew P. Smit Fuzzy Determination of The Humans Level of Psycho-Emotional. “*Mega-Conference on Biomedical Engineering*” Proceedings of the 4th-international conferecejn the develjpmnt of biomedical engineering Ho Chi Minh City Vietnam January 8-12, 2012: 354-357.
20. Shutkin A. N. Assessment of the level of psycho-emotional stress on the basis of combined fuzzy models and the model of G. rush / A. N. Shutkin // *System analysis and management in biomedical systems*. 2014; 14(3): 593-600.
21. Shutkin, A. N. Use of hybrid fuzzy models to assess the degree of fatigue/A. N. Shutkin, E. A. Boitsova, S. N. Korenevskaya. *Proceedings of Southwestern state University. Series Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation*. 2015; 2(15): 107-118.
22. Shutkin, A. N. Assessment of fatigue level using the theory of measurement of latent variables/ A. N. Shutkin, E. A. Boitsova, L. V. Starodubtseva. *System analysis and management in biomedical systems*. 2015; 14(3): 553 - 561.
23. Korenevsky N. A. Method of synthesis of mathematical models of forecasting and diagnostics of occupational diseases of employees of electric power industry enterprises [Text]/ N.A.

- Korenevsky, M.A. Myasoedova, K.V. Razumova, A.V. Serebrovsky . *Proceedings of Southwestern state University. - Control series. Computer engineering, computer science. Medical instrumentation.* – 2019; 2:127-143.
24. Myasoedova M. A. Forecasting and early diagnosis of occupational diseases of electric power industry employees based on hybrid fuzzy models. Diss. Cand. tech. sciences'. Kursk. 2019. - 162p.
 25. Myasoedova, M.A., Korenevsky, N.A., Starodubtseva, L.V., Pisarev, M.V. Mathematical models for evaluating the influence of electromagnetic fields on the appearance and development of occupational diseases in the electric power industry. *Modeling, optimization and information technology.* 2019;7(2):27-42.
 26. Bokeria L. A., Bykov A.V., Korenevsky N. A. Optimization of management of patients with multicentric ischemic lesion on the basis of intellectual technologies [Text]: monograph / L. A. Bokeria, A.V. Bykov, N. A. Korenevsky.- Stary Oskol: TNT, 2019: 400.
 27. Yemelyanov S. G. Predicting the severity of ischemic process development in the heart, brain and lower extremities on the basis of fuzzy models [Text]/ S. G. Yemelyanov, N. A. Korenevsky, A.V. Bykov . *Biomedical Radioelectronics.*-2016; 9: 4-9.
 28. Bykov A.V. Predicting the development of critical state of heart circulation on the basis of fuzzy models [Text]/ A.V. Bykov [et al.] . *Izvestiya Yugo-ZAPADNOGO gosudarstvennogo universiteta.* - Control series. Computer engineering, computer science. Medical instrumentation. – 2018;8,(1): 55-66.
 29. Bykov A.V. Method for evaluating the functional state of the Central hemodynamic system [Text]/ A.V. Bykov, N. A. Korenevsky, E. A. Boitsova . *Proceedings of Southwestern state University. - Control series. Computer engineering, computer science. Medical instrumentation.* – 2017;7(3): 66-77.
 30. Bykov A.V. *Method and fuzzy model for assessing the severity of ischemic disease of the Central hemodynamic system* [Text]/ A.V. Bykov . *Bulletin of new medical technologies.* – 2017; 24(4): 144-150.
 31. Bykov A.V. Formation of a space of informative signs for assessing the condition of patients with chronic obliterating diseases of the lower limb arteries [Text]/ A.V. Bykov . *Proceedings of Southwestern state University. - Control series. Computer engineering, computer science. Medical instrumentation.* – 2018;1(26): 97-108.
 32. Korenevsky N. A. Control of dynamics of development of ischemic processes in the heart by energy imbalance of Meridian structures// Korenevsky N. A., Grigorov I. Yu., Razumova K. V., Gorbunov V. A., Dmitrieva, Degtyarev S. V. // *Medical equipment* – 2020;1: 47-50.
 33. Korenevsky, N. A. Assessment and management of health status based on the models Of G. rush / N. A. Korenevsky, A. N. Shutkin, E. A. Boitsova, V. V. Dmitriev / *Medical equipment.*- 2015;6: 37-40.
 34. Korenevsky, N. A. Using the theory of measurement of latent variables to assess the level of psychoemotional stress / N.A. Korenevsky, A.V. Boytsov, A.N. Shutkin, E. A. Boytsova, E.N. Korenevskaya . *Proceedings of Southwestern state University. Series Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation.* – 2015; 3(16): 103-118.
 35. Maslak A.A *Measurement of latent variables in socio-economic systems:* Monograph.- Slavyansk-on-Kuban: Publishing house.Srpi center. 2006: 333.
 36. *Getting Started RUMM 2010.* RaschUnidimensional Measurement Models.-Pert: RUMM Laboratory Ltd. 2001: 87.
 37. Korenevsky, N.A. *Information and intellectual systems for reflexology doctors:* monograph / N. A. Korenevsky, R. A. Krupchatnikov. - Stary Oskol: TNT, 2013: 424.
 38. Korenevsky, N.A. Theoretical foundations of acupuncture Biophysics with applications in medicine, psychology and ecology based on fuzzy network models / N.A. Korenevsky, R.A. Krupchatnikov, R.T. Al-Kasasbeh.- Stary Oskol: TNT, 2013: 528.

39. Korenevsky, N. A. Method of forecasting and diagnostics of occupational diseases based on the energy imbalance of the Meridian structures of the body/ N. A. Korenevsky, I. Y. Grigorov, K. V. Razumova . *Proceedings of Southwestern state University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation.* – 2019; 9(2): 75-90.
40. Korenevsky, N.A. *Synthesis of prognostic and diagnostic fuzzy decision rules for electrical characteristics of projection zones for medical and environmental applications* [Text] / N.A. Korenevsky, V.A. Bunyaev, R.A. Krupchatnikov . University news. North Caucasus region. Technical science, 2009; 4:39-46.
41. Al-Kasasbeh, R.T., Korenevskiy N.A., Alshamasin M., Ionescou F., Smith A. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering.* 2013;16(3):301-313.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Корневский Николай Алексеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация.
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru
ORCID: [0000-0003-2048-0956](https://orcid.org/0000-0003-2048-0956)

Korenevsky Nikolay Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Biomedical Engineering of FSBEI of HE South-West State University, Kursk, Russian Federation

Медников Дмитрий Андреевич, аспирант, кафедра биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация.
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Dmitry Mednikov, PhD Student, Department of Biomedical Engineering, South-West State University, Kursk, Russian Federation

Родионова Софья Николаевна, аспирант, кафедра биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация.
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Rodionova S.N., PhD Student, Department of Biomedical Engineering, South-West State University, Kursk, Russian Federation

Стародубцев Владислав Викторович, аспирант, кафедра биомедицинской инженерии, ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация.
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Starodubtsev V.V., PhD Student, Department of Biomedical Engineering, South-West State University, Kursk, Russian Federation