

УДК 616.5-002.4

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.29.2.032](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.29.2.032)

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых электромагнитными полями радиочастотного диапазона малой интенсивности

Н.А. Корневский, А.В. Титова, Т.Н. Говорухина, Д.А. Медников

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

Резюме. В работе предлагаются математические модели прогнозирования и диагностики заболеваний, провоцируемых воздействием электромагнитных полей радиочастотного диапазона, позволяющие контролировать текущее состояние человека с целью дальнейшего принятия решений о возможной коррекции функций организма, в случае необходимости. С учетом неполного и нечеткого описания исследуемого класса заболеваний 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 электромагнитных полей (ЭМП) различной модальности и интенсивности с учетом других эндогенных и экзогенных факторов риска. Для мощных и стабильных ЭМП предлагается использовать модификацию известных моделей, полученных для промышленных энергосетей. Для оценки влияния низкоинтенсивных, нестабильных ЭМП радиочастотного диапазона на организм человека предлагается использовать нечеткие табличные модели и ряд чувствительных к действию ЭМП радиочастотного диапазона индикаторов. К таким индикаторам относятся состояние внимания, памяти, мышления, а также динамика изменения энергетического состояния биологически активных точек, связанных с исследуемой патологией. На примере машинистов электропоездов получены математические модели прогнозирования и ранней диагностики появления и развития заболеваний нервной системы. Показано, что если с электромагнитными факторами риска использовать дополнительную информацию о состоянии здоровья обследуемых, то уверенность в правильном прогнозе достигает величины 0,85, а наличия ранних стадий заболеваний нервной системы – 0,95.

Ключевые слова: прогнозирование, диагностика, электромагнитное поле, радиочастотный диапазон, предельно допустимый уровень, организм человека, нечеткое решающее правило

Для цитирования: Корневский Н.А., Титова А.В., Говорухина Т.Н., Медников Д.А.

Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых электромагнитными полями радиочастотного диапазона малой интенсивности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2020;8(2). Доступно по https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/KorenevskySoavtors_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.032

Mathematical models for predicting and early diagnosis of diseases caused by electromagnetic fields of low-frequency radio frequency range

N.A. Korenevsky, A.V. Titova, T.N. Govorukhina, D.A. Mednikov

Southwest state University, Kursk, Russian Federation

Abstract: The paper proposes mathematical models for predicting and diagnosing diseases provoked by exposure to electromagnetic fields of the radio frequency range, which make it possible to control the current state of a person in order to make further decisions about possible correction of body functions, if necessary. Given the incomplete and fuzzy description of the studied class of diseases, soft computing technology was chosen as the basic mathematical apparatus, and, in particular, the synthesis methodology of hybrid fuzzy decision rules, which has proven itself in solving problems with a similar data structure and type of uncertainty. The selected synthesis method allows us to take into account the multiplicative effect of exposure to the human body of electromagnetic fields (EMF) of various modality and intensity, taking into account other endogenous and exogenous risk factors. For powerful and stable EMFs, it is proposed to use a modification of well-known models obtained for industrial power grids. To assess the effect of low-intensity, unstable electromagnetic fields of the radio frequency range on the human body, it is proposed to use fuzzy tabular models and a number of indicators sensitive to the action of the electromagnetic field of the radio frequency range. Such indicators include the state of attention, memory, thinking, as well as the dynamics of changes in the energy state of biologically active points associated with the pathology under study. On the example of electric train drivers, mathematical models for predicting and early diagnosis of the appearance and development of diseases of the nervous system are obtained. It is shown that if additional information about the health status of the subjects is used with electromagnetic risk factors, then confidence in the correct prognosis reaches 0.85, and in the presence of early stages of diseases of the nervous system - 0.95.

Keywords: chronic obliterating diseases of lower limbs, theory of latent variables measurement, optimal treatment regimens.

For citation: Korenevsky N.A., Titova A.V., Govorukhina T.N., Mednikov D.A.

Mathematical models for predicting and early diagnosis of diseases caused by electromagnetic fields of low-frequency radio frequency range. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(2). Available from: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/05/KorenevskySoavtors_2_20_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2020.29.2.032 (In Russ).

Введение

Исследованию влияния электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона (РД) посвящено достаточно много работ отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4, 5, 6]. При этом для высокоинтенсивных (больше предельно допустимого уровня (ПДУ) энергетической экспозиции (ЭЭ)) установлены опасные уровни, предусматривающие проведение социально-гигиенических мероприятий по предупреждению появления и развития профессиональных заболеваний, соответствующих профессий [7, 8, 9].

Вредное воздействие ЭМП малой интенсивности подтверждается многочисленными исследованиями, но научно-обоснованных мероприятий, ориентированных на ограничения этого воздействия, ни моделей количественной оценки влияния ЭМП РД малых энергий в проанализированной открытой литературе нами не найдено. На наш взгляд получение таких рекомендаций и моделей значительно осложняется наличием медико-технологических возможностей, а также тем, что в реальных условиях организм человека чаще всего подвергается сочетанному и смешанному воздействию ЭМП различных частотных диапазонов и различной интенсивности в сочетании с другими экзогенными и эндогенными факторами риска, трудно поддающимися достаточно точному количественному анализу и приводящему к мультипликативным эффектам, значительно усиливающим риск появления и развития целого ряда заболеваний.

Задачи такого уровня могут эффективно решаться только с использованием интеллектуальных систем поддержки принятия решений с хорошо подготовленной базой знаний, структура которой адекватна решаемой задаче [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Опыт, полученный при решении плохоформализуемых задач с нечеткой и неполной структурой данных, аналогичной рассматриваемой в данной работе, показывает, что приемлемых для практики результатов можно достичь, используя методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП), адаптировав её к особенностям решаемых задач [15, 16, 17, 18, 19].

Материалы и методы

Анализ многочисленной литературы показывает, что длительное воздействие ЭМП даже малой интенсивности приводит к нарушению биологических и физиологических процессов в организме. Считается, что наибольшему влиянию подвергается центральная нервная система, что приводит к появлению и развитию заболеваний нервной системы, психосоматических болезней, нарушению таких когнитивных функций, как внимание, память, мышление, негативному сдвигу в функциональном состоянии определенных систем и организма в целом.

Характерной особенностью действия ЭМП на человека является то, что для определенных интенсивностей, частот и длительности воздействия включаются адаптивные механизмы снижая вредные последствия на организм. Учет защитных механизмов организма может быть осуществлен путем оценивания уровня защиты UZ_ℓ для патологии ω_ℓ определяемого по величине индекса функционального напряжения (ИФИ) и энергетического разбаланса (ER_S), общесистемных биологически активных точек (БАТ)

$$UZ_\ell = F_{US\ell}(\text{ИФИ}, ER_S) \quad (1)$$

где $F_{US\ell}$ - функция агрегации для патологии ω_ℓ для оценки соответствующих защитных функций.

Методики определения UZ_ℓ достаточно подробно описаны в работах [16, 16, 20].

Для частотного диапазона f_i действующего относительно стабильно на протяжении рабочей смены в течение длительного времени t_{σ_i} (стаж работы), учитывая рекомендации [5, 6, 23] уверенность UEP_{ℓ_i} в появлении и развитии заболевания ω_ℓ будем определять выражением

$$UEP_{\ell_i} = FE_{\ell_i}[\mu_{\ell_i}(Z_{\ell_i})] \quad (2)$$

где $\mu_{\ell_i}(Z_{\ell_i})$ – функция принадлежности к классу заболеваний ω_ℓ от воздействия частотного диапазона i с базовой переменной Z_{ℓ_i} .

Базовая переменная выбирается как функция от энергетической экспозиции для диапазона f_i и времени t_{σ_i}

$$Z_{\ell_i} = f_{\ell_i}(Q_{Z_i}) \cdot f_{\ell_i}^*(t_{\sigma_i}) \quad (3)$$

где $f_{\ell_i}(Q_{Z_i})$ - нормированная функция для патологии ω_ℓ для энергетической экспозиции диапазона f_i с областью определения $[0, \dots, 1]$; $f_{\ell_i}^*(t_{\sigma_i})$ - нормировочная временная функция отражающая риск появления и развития ω_ℓ в зависимости от длительности воздействия на организм человека частотного диапазона f_i с областью определения $[0, \dots, 1]$.

С учетом рекомендаций [8, 9] комплексный показатель энергетической экспозиции для частот от 30 кГц до 300 МГц определяется выражением

$$Q_i = \frac{\partial \partial_{E_i}}{\partial \partial_{E_i ПДУ}} + \frac{\partial \partial_{H_i}}{\partial \partial_{H_i ПДУ}} \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{E_i} = E_i^2 T_i$ - энергетическая экспозиция электрического поля для диапазона частот f_i ; E_i - напряженность электрической составляющей ЭМП; T_i - время действия f_i за рабочую смену в часах; $\mathcal{E}_{H_i} = H_i^2 T_i$ - энергетическая экспозиция магнитной составляющей ЭМП; H_i - напряженность магнитной составляющей; $\mathcal{E}_{\text{ЭПДУ}}$, $\mathcal{E}_{\text{МПДУ}}$ - значения соответствующих ПДУ.

Для частот свыше 300 МГц показатель энергетической экспозиции выражения (4) определяется по плотности потока энергии $\mathcal{E}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T$

В общем виде уровень защиты организма для различных диапазонов частот может быть различным, что учитывается в выражении (1) тем, что для различных f_i будут различны соответствующие функции агрегации $F_{UZ_{\ell_i}}$, а следовательно и UZ_{ℓ_i} .

С учетом защитных функций в соответствии с рекомендациями [17, 20, 45] уверенность в появлении и развитии патологии ω_{ℓ} от частотного диапазона f_i уточняется до выражения

$$UEP_{\ell_i}^* = \begin{cases} UEP_{\ell_i} - UZ_{\ell_i}, & \text{если } UEP_{\ell_i} > UZ_{\ell_i}; \\ 0, & \text{если } UEP_{\ell_i} \leq UZ_{\ell_i}. \end{cases} \quad (5)$$

Для совокупности стабильно действующих смешанных и сочетанных частотных диапазонов f_i уверенность в появлении и развитии ω_{ℓ} определяется выражением

$$UES_{\ell} = F_{ES}(UEP_{\ell_i}^*), \quad (6)$$

где F_{ES} - функция агрегации составляющих $UEP_{\ell_i}^*$ (модель 5) определяемая в соответствии с общими рекомендациями МСГНПП.

В реальных условиях часть или все составляющие ЭМПРД малой интенсивности воздействуют на человека неравномерно во времени, пространстве по интенсивности и по частоте. Это не позволяет определять составляющие выражения (6) с достаточной для практики точностью.

В таких условиях в работах [6, 6, 21] предлагается использовать нечеткие табличные модели, построение которых (как показал опыт решения аналогичных задач) для экспертов понятнее и проще, чем определение параметров соответствующих функций принадлежности для модели (2).

В базовом варианте по строкам таблицы определяются характеристики источников излучения провоцирующих появление и развитие заболевания ω_{ℓ} , например, классы мобильных телефонов с различными характеристиками излучений, типы радиостанций, типы компьютеров, типы радиолокационных станций и т.д. По столбцам таблицы выставляются временные характеристики воздействия (стаж работы в условиях излучения, среднее время воздействия в течение фиксированных интервалов времени, например, за месяц, декаду, год, параметры, характеризующие воздействия и др.)

В зависимости от типа решаемой задачи может строиться одна таблица по классу ω_{ℓ} для всех источников излучений или несколько таблиц для диапазонов частот и (или) различных энергетических экспозиций различно влияющих на появление и развитие исследуемого класса заболеваний ω_{ℓ} и т.д.

Элементами каждой таблицы является уверенность в появлении и развитии ω_{ℓ} $UE_{\ell_{ij}}$ для характеристики i -го источника излучения для интервала времени воздействия с номером j .

Для таблицы с номером r уверенность UEP_{ℓ} в ω_{ℓ} определяется выражением

$$UEP_{\ell r} = FE_{\ell r}(UE_{\ell ij}) \quad (7)$$

Модель (7) корректируется с учетом защитных функций организма (5).

Для всей совокупности таблиц определяется общая уверенность в принятии решений по классу ω_{ℓ} аналогично (6).

В условиях действия малоинтенсивных ЭМП уверенность в принятии решений по прогнозу появления и развития заболеваний ω_{ℓ} определяемая только по показателям энергетической экспозиции чаще всего существенно ниже, чем требуется для практических приложений, поэтому на следующих этапах синтеза необходимо определять дополнительные списки информативных признаков с синтезом соответствующих гибридных нечетких решающих правил используя общие рекомендации МСГНRP [15, 16, 17, 18, 19].

Учитывая, что наибольшему риску от воздействия ЭМП подвергается нервная система, рекомендуется, при отсутствии клинических проявлений, в задачах прогнозирования и ранней диагностики в качестве дополнительных информативных признаков рекомендуется использовать энергетический разбаланс биологически активных точек «связанных» с нервной системы и с психосоматическими заболеваниями.

Эти рекомендации убедительно подтверждаются данными работ [20, 21, 22, 23, 24].

Варианты синтеза нечетких решающих правил прогнозирования и ранней диагностики заболеваний по энергетическому разбалансу БАТ подробно изложены в работах [20, 21, 24].

Для заболеваний нервной системы с учетом рекомендаций [20, 21] следует использовать точки P9, C5, V43, V60, R9 и MC7, в том числе пары диагностически значимых точек (ДЗТ) {V60, R9} и {R7, MC7}.

В соответствии с рекомендациями частная математическая модель для определения уверенности UDB_H в появлении и развитии заболеваний нервной системы имеет вид:

$$\begin{aligned} &\text{ЕСЛИ } [(\delta R_{P9} \text{ И } \delta R_{V60}) \text{ ИЛИ } (\delta R_{R7} \text{ И } \delta R_{MC7}) \geq 20\%], \text{ ТО} \\ &\{UDB_H(j+1) = UDB_H(j) + \mu_H(\delta R_{j+1})[1 - UDB_H(j)]\} \\ &\text{ИНАЧЕ } (UDB_H = 0) \end{aligned} \quad (8)$$

где $\mu_H(\delta R_j)$ - функция принадлежности к классу ω_H (патология нервной системы).

Аналогично могут быть получены частные решающие правила оценки уверенности в появлении и развитии заболеваний других органов и систем по энергетической реакции БАТ.

Проведенные исследования показали, что действие электромагнитных полей малой интенсивности на доклинической стадии приводит к развитию психоэмоционального напряжения, изменению показателей внимания, памяти, мышления и к нарушению других когнитивных функций.

С учетом этого в задачах прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, вызываемых ЭМП малой интенсивности в качестве информативных признаков целесообразно использовать уровень психоэмоционального напряжения и количественные характеристики, описывающие состояние внимания и памяти.

Метод количественной оценки уровня психоэмоционального напряжения УР достаточно подробно описан в работах [16, 25, 26, 27, 28].

Аппаратура и методы оценки свойств внимания и памяти описаны в работах [25, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35].

В ряде работ, посвященных прогнозированию и ранней диагностике социально значимых и профессиональных заболеваний показано, что определенной информативностью обладают показатели функционального состояния и функционального резерва систем и органов подверженных риску, связанному с неблагоприятной экологической обстановкой, включая ЭМП. Математические модели количественной оценки функционального состояния (ФС) и функционального резерва (ФР), которые могут использоваться для решения поставленных задач в работе задач приведены в работах [36, 37, 38, 39, 40, 41, 42].

Для повышения качества принимаемых решений в соответствии с рекомендациями [6, 13, 16, 17, 21, 22, 43, 44, 45, 46, 47, 48] целесообразно дополнительно использовать признаки на количественном уровне описывающие факторы риска, связанные с индивидуальным образом жизни, текущим состоянием здоровья, экологией и эргономикой рабочих мест.

Таким образом в общем виде, используя общие рекомендации по синтезу гибридных нечетких решающих правил для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, провоцируемых ЭМП радиочастотного диапазона малой интенсивности следует получить решающие правила вида:

$$UEMP_{\ell} = FP_{\ell}[UES_{\ell}^P, UDB_{\ell}^P, UP_{\ell}^P(YP), US_{\ell}^P(YS_r), UFS_{\ell}^P(YFS), UFR_{\ell}^P(UFR), UER_{\ell}^P(YER), UEK_{\ell}^P, UIF_{\ell}^P]; \quad (9)$$

$$UEMR_{\ell} = FR_{\ell}[UES_{\ell}^R, UDB_{\ell}^R, UP_{\ell}^R(YP), US_{\ell}^R(YS_r), UFS_{\ell}^R(YFS), UFR_{\ell}^R(UFR), UER_{\ell}^R(YER), UEK_{\ell}^R, UIF_{\ell}^R]; \quad (10)$$

где $UEMP_{\ell}$ - уверенности в прогнозе возникновения и развития патологии ω_{ℓ} с фактором риска длительное действие ЭМП РД малой интенсивности; $UEMR_{\ell}$ - уверенность в наличии ранних стадий заболеваний ω_{ℓ} с фактором риска длительное воздействие ЭМП ДД малой интенсивности; FP_{ℓ} , FR_{ℓ} - функции интеграции для патологии ω_{ℓ} для задач прогнозирования и ранней диагностики соответственно; UES_{ℓ}^q - уверенность в ω_{ℓ} от действия ЭМП РД малой интенсивности от стабильных и нестабильных источников определяемая агрегацией моделей 6 и 7); q – идентификатор решаемой задачи ($q=P$ – прогноз, $q=R$ – ранний диагноз); UDB_{ℓ}^q - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q ($q=P,R$) по энергетическому разбалансу БАТ «связанных» с патологией ω_{ℓ} по задаче q ; $UP_{\ell}^q(YP)$ - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q , определяемая по уровню психоэмоционального напряжения YP ; $US_{\ell}^q(YS_r)$ - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q определяемая по количественным характеристикам когнитивных функций YS_r с идентификатором r ; $UFS_{\ell}^q(YFS)$ - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q определяется по количественным характеристикам функционального состояния YFS ; $UFR_{\ell}^q(YFR)$ - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q определяемая по количественным характеристикам функционального резерва YFR ; $UER_{\ell}^q(YER)$ - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q определяемая по уровню эргономичности рабочего места оператора YER ; UEK_{ℓ}^q - уверенность в ω_{ℓ} по задаче q от воздействия экологических факторов риска включая ЭМП промышленной частоты; UIF_{ℓ}^R - уверенность в ω_{ℓ} по задаче R по группе индивидуальных факторов риска.

Методы и примеры синтеза частных моделей, входящих в выражения (9) и (10) достаточно полно описаны в соответствующей литературе. Метод получения

составляющих UES_{ℓ}^q представлен в данной работе. Получение моделей оценки UDB_{ℓ}^q с соответствующими примерами приведены в работах [20, 24, 49, 50, 51, 52, 53]. Синтез $UP_{\ell}^q(YP)$ подробно описан в работах [16, 25, 26, 27, 28]. Синтез моделей $US_{\ell}^q(YS_r)$ описан в работах [34, 35, 54]. Методы и примеры синтеза моделей $UFS_{\ell}^q(YFS)$ и $UFR_{\ell}^q(UFR)$ с соответствующими примерами достаточно подробно описаны в работах [16, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 46]. Синтез частных моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний с учетом эргономических, экологических и индивидуальных факторов риска с различными практическими примерами описан в работах [16, 17, 21, 23, 44, 45, 46].

Общая методология синтеза финальных нечетких решающих правил с рекомендациями по выбору агрегаторов и примеры её практического использования приведены в работах [16, 17, 45, 46].

Следует отметить, что в реальных задачах в моделях (9) и (10) могут быть использованы не все составляющие, что приводит не к отказу от принимаемых решений, а только к возможному снижению их качества. При синтезе финальных решающих правил рекомендуется придерживаться простой логики. Вначале следует использовать минимум очевидной для экспертов информации и при необходимости увеличивать ее количество до достижения приемлемых прогностических и (или) диагностических результатов.

Результаты

В качестве примера рассмотрим синтез моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы у машинистов электропоездов. Источником производственных ЭМПРЧ малой интенсивности являются поездные радиостанции, работающие на частотах УКВ (от 152 до 156 м Гц) и КВ (от 2,13 до 2,15 МГц).

Интенсивность этих полей далека от предельно допустимых уровней и сама по себе практически не влияют на появление и развитие нервных болезней. Однако машинисты вне рабочего пространства локомотива могут злоупотреблять использованием мобильных телефонов и компьютеров. Это в сочетании с мощными электромагнитными полями порождаемыми приводами электропоездов создает реальную угрозу здоровью машинистов. Известно, что электропоезда являются источником ЭМП в диапазоне от 0 до 1000 Гц. Максимальное значение потоков магнитной индукции в поездах пригородной электрички доходит до 75 мкТл при норме 20 мкТл.

При этом режим электромагнитного излучения часто меняется, иногда достаточно резко (разгон, торможение и др). Считается, что среднее значения интенсивности ЭМП на транспорте с электроприводом составляет 30 мкТл.

В данном исследовании эксперты, оценивая реальные возможности влияния излучения на состояние здоровья машинистов электропоездов различных частотных составляющих, приняли решение строить функции принадлежности к классу риск появления и развития нервных болезней (ω_n) по комбинированному воздействию радиочастот малой интенсивности и электромагнитных полей питающей сети.

Результаты работы по оценке степени уверенности значения функции принадлежности в появлении и развитии нервных болезней под воздействием комбинированных ЭМП на машинистов электропоезда в зависимости от стажа работы приведены в Таблице 1.

График функции принадлежности к классу ω_n , построенный по усредненным значениям мнений экспертов приведен на Рисунке 1.

Аналитически график, приведенный на рисунке, описывается выражением

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

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

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

Стаж работы \ Эксперты	2	4	5	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
1	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,1	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3
2	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3
3	0	0	0	0	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3
4	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3
5	0	0	0,05	0,1	0,15	0,15	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3
6	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3
7	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3
8	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,1	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3
Среднее	0	0	0,006	0,02	0,04	0,1	0,14	0,16	0,22	0,25	0,28	0,29	0,3

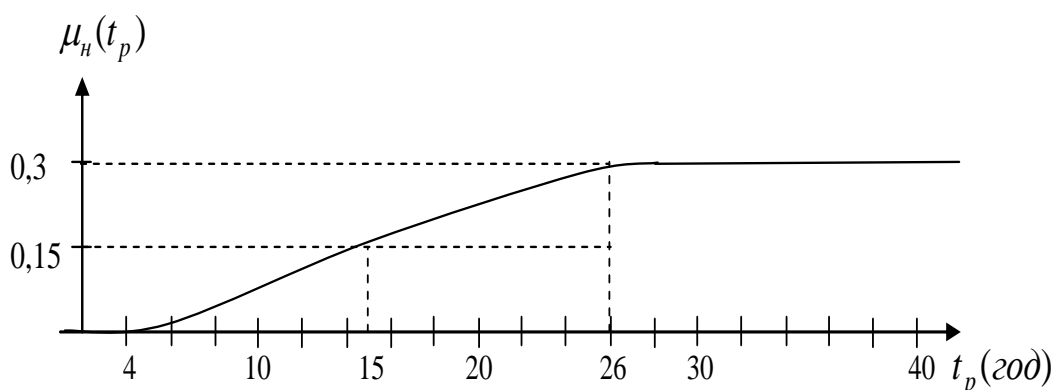


Рисунок 1 - График функции принадлежности $\mu_n(t_p)$ с базовой переменной стажа работы t_p

Figure 1 – Schedule of membership function $\mu_n(t_p)$ with a base variable t_p

Достаточно низкое максимальное значение $\mu_n(t_p)$ на уровне 0,3 определяется сомнением экспертов в роли ЭМП в появлении и развитии заболеваний нервной системы.

Влияние ЭМП компьютеров и мобильных телефонов на состояние здоровья железнодорожников оценивается таблицей 2, которая была заимствована из оценки

экспертов труда операторов вычислительных машин активно использующих мобильные телефоны.

В Таблице 2 приведены варианты подключения на связь мобильных телефонов (МТ) в сутки и продолжительность работы с персональным компьютером (ПК) подключенного к беспроводной сети интернет в сутки.

Для перечисленных вариантов воздействия ЭМП на машиниста электропоезда эксперты выбрали функцию агрегации вида [16, 17]

$$UEP_H(p+1) = UEP_H(p) + Q_H(p+1)[1 - UEP(p)], \quad (11)$$

где $UEP_H(1) = \mu_H(t_p)$; $Q_H(2)$ - уверенность в ω_H по таблице 2 для мобильных телефонов; $Q_H(3)$ - уверенность в ω_H по Таблице 2 для персональных компьютеров.

Таблица 2 - Оценка уверенности в появлении и развитии нервных болезней от использования мобильных телефонов и компьютеров

Table 2 – Assessment of confidence in the emergence and development of nervous diseases from the use of mobile phones and computers

Источник ЭМП с характером подключения	Время (год)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
МТ до 10 подключений	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
МТ от 10 до 20 подключений	0	0	0	0	0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2
МТ от 20 до 40 подключений	0	0	0	0,05	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2
МТ свыше 40 подключений	0	0,05	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3
ПК с продолжительностью до 1 часа	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,15	0,15
ПК с продолжительностью от 1 до 3 часов	0	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,25
ПК с продолжительностью от 3 до 5 часов	0	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,25	0,3
ПК с подключением свыше 5 часов	0	0	0	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,3	0,35

Результаты математического моделирования и экспертного оценивания показывают, что для наиболее часто встречающихся вариантов воздействия ЭМП на машинистов электропоездов уверенность в появлении и развитии нервных болезней определяемая по модели (11) составляет 0,54, что не позволяет использовать её без дополнительных исследований.

В соответствии с рекомендациями [16, 17] добавление к модели уровня защиты (модели 5 и 6) увеличивают уверенность в правильном решении до 0,61.

Использование электрических характеристик БАТ «связанных» с нервной системой (модель 8) позволяет поднять уверенность в прогностических задачах до 0,79, а в задаче оценки наличия ранних стадий до 0,84.

Если в соответствии с рекомендациями [16, 21, 23] в моделях (9) и (10) использовать индивидуальные факторы риска, характерные для нервных болезней, прогностическая уверенность возрастет до 0,85, а уверенность в ранней диагностике до

величины 0,9, что позволит рекомендовать полученные результаты в медицинскую практику.

Заключение

В работе получены нечеткие математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы у машинистов электропоездов, подвергающихся воздействию электромагнитных полей различной модальности в сочетании с другими эндогенными и экзогенными факторами риска. В ходе экспертного оценивания и математического моделирования показано, что уверенность в правильном решении по прогнозу развития заболеваний нервной системы достигает величины 0,85, а в наличии ранних стадий – величины 0,9, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику работы профильных врачей профпатологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руцова Ю.П., С.Ю. Перов, Е.В. Богачева Проблема изучения влияния электромагнитных полей на здоровье человека. Итоги и перспективы. *Медицина труда и промышленная экология*. 2013;6:35-40.
2. Григорьев, Ю.Г., Григорьев О.А. *Сотовая связь и здоровья: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности*. М.: Экономика. 2013.
3. Вихарев, А.П. *Влияние сотовой связи на здоровье пользователя*. Наука – производство – технологии – экология: сборник материалов конференции. Киров. 2004;4:181-182.
4. Никитина, В.Г., Ляшко Г.Г., Нечепоренко Э.Ю. и др. Электромагнитная обстановка на рабочих местах с ПЭВМ. Проблемы безопасности персонала. Ежегодник Росс. нац. к-та по защите от неионизирующих излучений за 2011 год. Сб. Трудов. М.: Центр электромагнитной безопасности. 2012:131-137.
5. 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.
6. Корневский Н.А., Мясоедова М.А., Разумова К.В., Серебровский А.В. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников предприятий электроэнергетики. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2019;9(2):127-143.
7. Ломов, О.П., Ахметзянов И.М., Гребеньков С.В., Левашов С.П., Терентьев Л.П. *Гигиенические нормативы. Физические факторы окружающей и производственной сферы*: справочник. М.: Проффессионал. 2011:794.
8. СанПиН 2.2.4.1191 – 03 *Электромагнитные поля в производственных условиях*.
9. ГОСТ 12.1.006-84 *Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые условия на рабочих местах и требования к проведению контроля*
10. Сафонов, В.О. *Экспертные системы – интеллектуальные помощники специалистов*. СПб.: Санкт-Петербургская организация общества «Знания» Россия. 1992.
11. Джарратано, Дж., Райли Г. *Экспертные системы: принципы разработки и программирования*. Вильямс. 2007.

12. Дюк, В., Эмануэль В. *Информационные технологии в медико-биологических исследованиях*. СПб: Питер, 2003.
13. Корневский Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург. 1993.
14. 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*. 2013;42(2):67-72.
15. Korenevskiy N.A. Application of logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical Engineering*. 2015;49(1):46- 49.
16. Корневский Н.А., Шуткин А.Н., Горбатенко С.А., Серебровский В.И. *Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий*. Старый Оскол: ТНТ. 2016.
17. 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.
18. 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;2:99-103.
19. Корневский Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2005;4(1):12-20.
20. 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*. Старый Оскол: ТНТ. 2013.
21. Говорухина Т.Н., Мясоедова М.А., Григров И.Ю., Поляков А.В. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы, провоцируемых комбинированным воздействием разнородных факторов риска. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2019;18(2):110-116.
22. Мясоедова М.А., Стародубцева Л.В., Титова А.В., Шульга П.В. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний нервной системы у работников электроэнергетических предприятий. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2019;9(3):60-172.
23. Мясоедова М.А. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний работников электроэнергетической отрасли на основе гибридных нечетких моделей. Дисс. канд. техн. наук. Курск. 2019.
24. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., *Информационно-интеллектуальные системы для врачей рефлексотерапевтов*: монографиям – Старый Оскол: ТНТ. 201.
25. Конева Л.В., Конева Л.В., Корневская С.Н., Дегтярев С.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания человека. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2012;11(4):993-1000
26. Шуткин А.Н. Оценка уровня психоэмоционального напряжения на основе комбинированных нечетких моделей и модели Г. Раша. *Системный анализ и управление в биомедицинских системах*. 2014;14(3):593-600.

27. N. Korenevskiy, Riad Al-Kasasbeh, F. Ionescou, Anrew P. Smit Fuzzy determination of the humans level of psycho-emotional «Mega-Conference on Biomedical Engineering» Proceedings of the 4th-international conference in the development of biomedical engineering Ho Chi Min city Vietnam January 8-12, 2012:354-357.
28. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M., Ionescou F., Alkasasbeh E., Smith A.P. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional. *IFMBE Proceedings "4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam"* 2013:213-216.
29. Корневский Н.А., Скопин Д.Е., Риад Таха Аль-Касасбех, Кузьмин А.А. Комплекс для исследования особенностей внимания и памяти. *Медицинская техника*. 2010;1(259):36-40.
30. Корневская С.Н., Шкатова Е.С., Магеровский М.А., Шуткин А.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы Android с АФЕ-интерфейсом. *Медицинская техника*. 2016;5:24-27.
31. Korenevskiy N.A., Scopin D.E., Al Kasasbeh R.T., Kuz'min A.A. System for studying specific features of attention and memory. *Biomedical Engineering*. 2010;44(1):32-35
32. Поляков А.В. Родионова С.Н., Филиппов С.В. Аппаратно-программный комплекс для оценки и реабилитации функции внимания и память. XXXII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Биомедсистемы 2019», Рязань 2019:75-78.
33. Плотников В.В., Корневский Н.А., Забродин Ю.М. *Автоматизация методик психологического исследования: Принципы и рекомендации*. Орел: институт психологии АНССР, ВНИИОТ Госагропрограмма Ср, 1989.
34. Поляков А.В., Коржук Н.Л., Родионова С.Н., Николаева Е.А. Прогнозирование появления и развития расстройств когнитивных функций внимания в процессе трудовой деятельности операторов информационно-насыщенных человеко-машинных систем. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2019;9(2):102-116.
35. Поляков А.В., Родионова С.Н., Корук Н.Л., Стародубцева Л.В. Диагностика ранних стадий когнитивных нарушений внимания на основе гибридных нечетких решающих правил. *Моделирование, оптимизация, информационные технологии*. 2019;7(4). Доступен по: https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/PolyakovSoavtors_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.031 (дата обращения 11.06.2020)
36. Титов В.С., Сапитонова Т.Н. Классификация функционального состояния человека и нечеткая оценка их уровня. *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2012;2(3):320-324.
37. 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.
38. Шкатова Е.С., Магеровский М.А., Мухатиев Ю.Б. Оценка функционального состояния и функционального резерва организма по энергетической сбалансированности меридианных структур. Сборник научных трудов по материалам VIII международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития техники и технологии». Белгород, 2015. Ч. II. 8:132-135.
39. Яцун С.Ф., Бойцов А.В. Нечеткая оценка уровня функционального резерва человека. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, и информатика. Медицинское приборостроение*. 2012;2(3):271-275.

40. Корневский Н.А., Коростелев А.Н. Применение гетерогенных нечетких моделей для комплексной оценки уровня функционального резерва человек. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011;7(8):142-147.
41. Корневский Н.А., Нечаев Е.В., Бойцова Е.А. Комплексная оценка уровня функциональных резервов организма человека на основе моделей принятия решений. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2010;2:30-30.
42. Корневский Н.А., Коростелев А.Н., Стародубцева Л.В., Серебровский В.В. Метод оценки функционального резерва человека-оператора на основе комбинированных правил нечеткого вывода. *Биотехносфера*. 2012;1(19):44-49.
43. Корневский Н.А., Авилова И.А. Магнитные и электромагнитные поля как экологический фактор внешней и производственной среды. Материалы международной НТК «Проблемы региональной экологии»: Израиль, Тель-Авив, 1999:28-31.
44. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Говорухина Т.Н., Мясоедова М.А. Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и её влияние на состояние здоровья человека-оператора с учетом функционального резерва его организма. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(1):39-53.
45. Корневский Н.А. Серебровский В.И., Коптева Н.А., Говорухина Т.Н. *Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных*. Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак, 2012.
46. Корневский Н.А., Степашов Р.В., Серебровский А.В., Говорухина Т.Н. *Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография*. Курск: КГСХА, 2016: 224.
47. 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.
48. 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.
49. Al-Kasasbeh R., Korenevskiy, N., Ionescou, F., Alshamasin M. Kuzmin, A. Synthesis of fuzzy logic for prediction and medical diagnostics by energy characteristics of Acupuncture Points. *Journal of acupuncture and Meridian Studies Korea*. 2011;4(3):175-182
50. Al-Kasasbeh R., Nikolay Korenevskiy, Mahdi Alshamasin : Bioengineering system for prediction and early Prenosological diagnostics of Stomach Diseases Based on ENergy Characteristics of bioactive Points with Fuzzy Logic, 2nd Biomedical Engineering Conference and Expo November 30-December 01, San Antonio, USA, 2015
51. 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,
52. Al-Kasasbeh, R., Korenevskiy, N., Ionescu, F., Alshamasin M., Smith, A.P. Alwadie, A. Biotechnical measurement and softwaresystem for the prediction and diagnosis of osteochondrosis of the lumbar region with the use of fuzzy logic rules. *Biomedizinische Technik*, 2013;1:51-65.
53. Al-Kasasbeh, R.T, Ionescu F., Korenevskiy N. A., Mahdi S. Prediction and Prenosological Diagnostics of Gastrointestinal Tract Diseases Based on Energy Characteristics of

Acupuncture Points and Fuzzy Logic, Proc. 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology, Sanya, China, March 25-27, 2011

54. Корневский Н.А., Поляков А.В., Родионова С.Н., Говорухина Т.Н. Метод синтеза математических моделей прогнозирования и ранней диагностики нарушений когнитивных функций. *Системный анализ, управление в биотехнических системах*. 2019;18(4):85-92.

REFERENCES

1. Rucova YU.P., S.YU. Perov, E.V. Bogacheva Problema izucheniya vliyaniya elektromagnitnyh polej na zdorov'e cheloveka. Itogi i perspektivy. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2013;6:35-40.
2. Grigor'ev, YU.G., Grigor'ev O.A. *Sotovaya svyaz' i zdorov'ya: elektromagnitnaya obstanovka, radiobiologicheskie i gigenicheskie problemy, prognoz opasnosti*. M.: Ekonomika. 2013.
3. Viharev, A.P. *Vliyanie sotovoj svyazi na zdorov'e pol'zovatelya. Nauka – proizvodstvo – tekhnologii – ekologiya: sbornik materialov konferencii*. Kirov. 2004;4:181-182.
4. Nikitina, V.G., Lyashko G.G., Necheporenko E.YU. i dr. *Elektromagnitnaya obstanovka na rabochih mestah s PEVM. Problemy bezopasnosti personala. Ezhegodnik Ross. nac. k-ta po zashchite ot neioniziruyushchih izluchenij za 2011 god*. Sb. Trudov. M.: Centr elektromagnitnoj bezopasnosti. 2012:131-137.
5. Myasoedova, M.A., Korenevskij N.A., Starodubceva L.V., Pisarev M.V. Matematicheskie modeli ocenki vliyaniya elektromagnitnyh polej na poyavlenie i razvitie professional'nyh zabolevanij v elektroenergeticheskoj otrasli. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*. 2019;7(2):27-42.
6. Korenevskij N.A., Myasoedova M.A., Razumova K.V., Serebrovskij A.V. Metod sinteza matematicheskikh modelej prognozirovaniya i diagnostiki professional'nyh zabolevanij rabotnikov predpriyatij elektroenergetiki. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoje priborostroenie*. 2019;9(2):127-143.
7. Lomov, O.P., Ahmetzyanov I.M., Greben'kov S.V., Levashov S.P., Terent'ev L.P. *Gigenicheskie normativy. Fizicheskie faktory okruzhayushchej i proizvodstvennoj sfery: spravochnik*. M.: Professional. 2011.
8. SanPiN 2.2.4.1191 – 03 *Elektromagnitnye polya v proizvodstvennyh usloviyah*.
9. GOST 12.1.006-84 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). *Elektromagnitnye polya radiochastot. Dopustimye usloviya na rabochih mestah i trebovaniya k provedeniyu kontrolya*.
10. Safonov, V.O. *Ekspertnye sistemy – intellektual'nye pomoshchniki specialistov*. SPb.: Sankt-Peterburgskaya organizaciya obshchestva «Znaniya» Rossiya. 1992.
11. Dzharratano, DZH., Rajli G. *Ekspertnye sistemy: principy razrabotki i programmirovaniya*. Vil'yams. 2007.
12. Dyuk, V., Emanuel' V. *Informacionnye tekhnologii v mediko-biologicheskikh issledovaniyah*. SPb: Piter, 2003.
13. Korenevskij N.A. *Principy i metody postroeniya interaktivnyh sistem diagnostiki i upravleniya sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnove polifunkcional'nyh modelej*. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg. 1993.
14. 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*. 2013;42(2):67-72.

15. Korenevskiy N.A. Application of logic for decision-making in medical expert systems. *Biomedical Engineering*. 2015;49(1):46- 49.
16. Korenevskij N.A., SHutkin A.N., Gorbatenko S.A., *Serebrovskij V.I. Ocenka i upravlenie sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchihsya na osnove gibridnyh intellektual'nyh tekhnologij*. Staryj Oskol: TNT. 2016.
17. Korenevskij N.A., Rodionova S.N., Hripina I.I. *Metodologiya sinteza gibridnyh nechetkih reshayushchih pravil dlya medicinskih intellektual'nyh sistem podderzhki prinyatiya reshenij*. Staryj Oskol: TNT, 2019.
18. Korenevskij N.A. Metodologiya sinteza geterogennyh nechetkih pravil dlya analiza i upravleniya sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*. 2013;2:99-103.
19. Korenevskij N.A. Proektirovanie nechetkih reshayushchih setej, nastraivaemyh po strukture dannyh dlya zadach medicinskoj diagnostiki. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2005;4(1):12-20.
20. 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*. Staryj Oskol: TNT. 2013.
21. Govoruhina T.N., Myasoedova M.A., Grigrov I.YU., Polyakov A.V. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i rannej diagnostiki zabolevanij nervnoj sistemy, provociruemyh kombinirovannym vozdeystviem raznorodnyh faktorov riska. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2019;18(2):110-116.
22. Myasoedova M.A., Starodubceva L.V., Titova A.V., SHul'ga P.V. Matematicheskie modeli prognozirovaniya i rannej diagnostiki zabolevanij nervnoj sistemy u rabotnikov elektroenergeticheskikh predpriyatij. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie*. 2019;9(3):160-172.
23. Myasoedova M.A. *Prognozirovanie i rannaya diagnostika professional'nyh zabolevanij rabotnikov elektroenergeticheskoy otrasli na osnove gibridnyh nechetkih modelej. Diss. kand. tekhn. nauk*. Kursk. 2019.
24. Korenevskij N.A., Krupchatnikov R.A., *Informacionno-intellektual'nye sistemy dlya vrachej refleksoterapevtov: monografiyam* – Staryj Oskol: TNT. 2013.
25. Koneva L.V., Koneva L.V., Korenevskaya S.N., Degtyarev S.V. Ocenka urovnya psihoemocional'nogo napryazheniya i utomleniya po pokazatelyam, karakterizuyushchim sostoyanie vnimaniya cheloveka. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2012;11(4):993-1000
26. SHutkin A.N. Ocenka urovnya psihoemocional'nogo napryazheniya na osnove kombinirovannyh nechetkih modelej i modeli G. Rasha. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2014;14(3):593-600.
27. N. Korenevskiy, Riad Al-Kasasbeh, F. Ionescou, Anrew P. Smit *Fuzzy determination of the humans level of psycho-emotional «Mega-Conference on Biomedical Engineering» Proceedings of the 4th-international conference in the development of biomedical engineering Ho Chi Min city Vietnam January 8-12, 2012:354-357*.
28. Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R.T., Alshamasin M., Ionescou F., Alkasasbeh E., Smith A.P. *Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional*. IFMBE Proceedings "4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam" 2013:213-216.
29. Korenevskij N.A., Skopin D.E., Riad Taha Al"-Kasasbekh, Kuz'min A.A. Kompleks dlya issledovaniya osobennostej vnimaniya i pamyati. *Medicinskaya tekhnika*. 2010;1(259):36-40.

30. Korenevskaya S.N., SHkatova E.S., Magerovskij M.A., SHutkin A.N. Apparato-programmnyj kompleks dlya psihofiziologicheskikh issledovanij na baze platformy Android s AFE-interfejsom. *Medicinskaya tekhnika*. 2016;5:24-27.
31. Korenevskiy N.A., Scopin D.E., Al Kasasbeh R.T., Kuz'min A.A. System for studying specific features of attention and memory. *Biomedical Engineering*. 2010;44(1): 32-35
32. Polyakov A.V., Rodionova S.N., Filippov S.V. *Apparato-programmnyj kompleks dlya ochenki i rehabilitacii funkcii vnimaniya i pamyat'*. XXXII Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya studentov, molodyh uchenyh i specialistov «Biomedсистемы 2019», Ryazan' 2019:75-78.
33. Plotnikov V.V., Korenevskij N.A., Zabrodin YU.M. *Avtomatizatsiya metodik psihologicheskogo issledovaniya: Principy i rekomendacii*. Orel: institut psihologii ANSSR, VNIOT Gosagrogramma Sr, 1989.
34. Polyakov A.V., Korzhuk N.L., Rodionova S.N., Nikolaeva E.A. Prognozirovaniye poyavleniya i razvitiya rasstrojstv kognitivnykh funktsij vnimaniya v processe trudovoj deyatel'nosti operatorov informacionno-nasyshchennykh cheloveko-mashinnykh sistem. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*. 2019;9(2):102-116.
35. Polyakov A.V., Rodionova S.N., Koruk N.L., Starodubceva L.V. Diagnostika rannih stadij kognitivnykh narushenij vnimaniya na osnove gibridnykh nechetkih reshayushchih pravil. *Modelirovaniye, optimizatsiya, informacionnye tekhnologii*. 2019;7(4). Dostupen po : https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/PolyakovSoavtors_4_19_1.pdf DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.031 (data obrashcheniya 11.06.2020)
36. Titov V.S., Sapitonova T.N. Klassifikatsiya funktsional'nogo sostoyaniya cheloveka i nechetkaya ocenka ih urovnya. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012;2(3):320-324.
37. Korenevskij N.A. Gibridnye nechetkie modeli ochenki funktsional'nogo sostoyaniya i sostoyaniya zdorov'ya cheloveka-operatora informacionno-nasyshchennykh sistem. *Sistemnyj analiz i upravlenie v biomedicinskih sistemah*. 2019;18(2):105-109.
38. SHkatova E.S., Magerovskij M.A., Muhatiev YU.B. *Ocenka funktsional'nogo sostoyaniya i funktsional'nogo rezerva organizma po energeticheskoy sbalansirovannosti meridiannykh struktur*. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam VIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennye tendencii razvitiya tekhniki i tekhnologii»*. Belgorod, 2015. CH. II. 8:132-135.
39. YAcun S.F., Bojcov A.V. Nechetkaya ocenka urovnya funktsional'nogo rezerva cheloveka. *Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, i informatika. Medicinskoe priborostroenie*. 2012; 2(3):271-275.
40. Korenevskij N.A., Korostelev A.N. Primeneniye geterogennykh nechetkih modelej dlya kompleksnoj ochenki urovnya funktsional'nogo rezerva chelovek. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;7(8):142-147.
41. Korenevskij N.A., Nechaev E.V., Bojцова E.A. Kompleksnaya ocenka urovnya funktsional'nykh rezervov organizma cheloveka na osnove modelej prinyatiya reshenij. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2010;2:30-30.
42. Korenevskij N.A., Korostelev A.N., Starodubceva L.V., Serebrovskij V.V. Metod ochenki funktsional'nogo rezerva cheloveka-operatora no osnove kombinirovannykh pravil nechetkogo vyvoda. *Biotekhnosfera*. 2012;1(19): 44-49.
43. Korenevskij N.A., Avilova I.A. *Magnitnye i elektromagnitnye polya kak ekologicheskij faktor vneshnej i proizvodstvennoj sredy. Materialy mezhdunarodnoj NTK «Problemy regional'noj ekologii»*: Izrail', Tel'-Aviv, 1999:28-31.

44. Korenevskij N.A., Rodionova S.N., Govoruhina T.N., Myasoedova M.A. Nechetkie modeli ocenki urovnya ergonomiki tekhnicheskikh sistem i eyo vliyanie na sostoyanie zdorov'ya cheloveka-operatora s uchetom funkcional'nogo rezerva ego organizma. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*. 2019;7(1):39-53.
45. Korenevskij N.A. Serebrovskij V.I., Kopteva N.A., Govoruhina T.N. *Prognozirovanie i diagnostika zabolevanij, vyzyvayemykh vrednymi proizvodstvennymi i ekologicheskimi faktorami na osnove geterogennykh*. Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak, 2012.
46. Korenevskij N.A., Stepashov R.V., Serebrovskij A.V., Govoruhina T.N. *Ispol'zovanie tekhnologij myagkih vychislenij dlya prognozirovaniya i diagnostiki professional'nykh zabolevanij rabotnikov agropromyshlennogo kompleksa: monografiya*. Kursk: KGSKHA, 2016: 224.
47. 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.
48. 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.
49. Al-Kasasbeh R., Korenevskiy, N., Ionescu, F., Alshamasin M. Kuzmin, A. *Synthesis of fuzzy logic for prediction and medical diagnostics by energy characteristics of Acupuncture Points. Journal of acupuncture and Meridian Studies Korea*. 2011;4(3):175-182
50. Al-Kasasbeh R., Nikolay Korenevskiy, Mahdi Alshamasin : *Bioengineering system for prediction and early Prenosological diagnostics of Stomach Diseases Based on ENergy Characteristics of bioactive Points with Fuzzy Logic*, 2nd Biomedical Engineering Conference and Expo November 30-December 01, San Antonio, USA, 2015
51. Al-Kasasbeh, R.T., Korenevskiy N.A., Alshamasin M., Ionescu 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,
52. Al-Kasasbeh, R., Korenevskiy, N., Ionescu, F., Alshamasin M., Smith, A.P. Alwadie, A. Biotechnical measurement and softwaresystem for the prediction and diagnosis of osteochondrosis of the lumbar region with the use of fuzzy logic rules. *Biomedizinische Technik*, 2013;1:51-65.
53. Al-Kasasbeh, R.T, Ionescu F., Korenevskiy N. A., Mahdi S. *Prediction and Prenosological Diagnostics of Gastrointestinal Tract Diseases Based on Energy Characteristics of Acupucture Points and Fuzzy Logic*, Proc. 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Technology, Sanya, China, March 25-27, 2011
54. Korenevskij N.A., Polyakov A.V., Rodionova S.N., Govoruhina T.N. Metod sinteza matematicheskikh modelej prognozirovaniya i rannej diagnostiki narushenij kognitivnykh funkcyj. *Sistemnyj analiz, upravlenie v biotekhnicheskikh sistemah*. 2019;18(4):85-92.

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

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

Титова Анна Владимировна, аспирант, кафедра вычислительной техники, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Российская Федерация.
e-mail: nyatarr@yandex.ru

Titova Anna Vladimirovna, PhD Student, Department of Computer Engineering, South-West State University, Kursk, Russian Federation.

Говорухина Татьяна Николаевна, к.т.н., доцент кафедры программной инженерии ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск, Российская Федерация.
e-mail: govtn@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2755-0163

Govorukhina Tatyana Nikolaevna, Candidate of Engineering, Associate Professor, Department of Software Engineering, 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