

УДК 615.47

DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25.2.013

М.А. Мясоедова, Н.А. Кореневский, Л.В. Стародубцева,
М.В. Писарев

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПОЯВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
Курск, Россия*

Целью исследования является разработка математических моделей оценки влияния электромагнитных полей различной модальности и интенсивности на организм человека обеспечивающих решение задач оценки состояния здоровья людей занятых в электроэнергетической отрасли с приемлемой для медицинской практики точностью. В качестве базового математического аппарата выбрана технология мягких вычислений и, в частности, методология синтеза гибридных нечетких решающих моделей разработанная в Юго-Западном государственном университете хорошо зарекомендовавшая себя при синтезе математических моделей прогнозирования, ранней и дифференциальной диагностики заболеваний со схожей структурой исследуемых классов состояний. В качестве примера описана математическая модель прогнозирования появления и развития заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий Курской области. Нечеткие математические модели используют функции принадлежности с базовыми переменными учитывающими напряженность электромагнитного поля промышленной частоты, стаж работы в электроэнергетике и индивидуальные факторы риска провоцирующие появление и развитие заболеваний нервной системы. В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что использование выбранной методологии синтеза гибридных нечетких математических моделей позволило получить математическую модель прогнозирования и развития заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетического комплекса с уверенностью превышающей 0,9.

Ключевые слова: математическая модель, нечеткая логика, профессиональные заболевания, иммунная система, электроэнергетика, прогнозирование

Введение

В работах многочисленных отечественных и зарубежных ученых показано вредное воздействие на организм человека промышленных электромагнитных полей.

Одной из важных особенностей задач оценки состояния здоровья людей, занятых в электроэнергетике является то, что кроме мощных электромагнитных полей (ЭМП) промышленной частоты 50 Гц (ЭМППЧ) на них действуют смешанные и сочетанные ЭМП радиочастотного диапазона, включая радиосигналы, телевизионные сигналы, сигналы

беспроводных компьютерных сетей и радиолокации, вплоть до сотен гигагерц.

Анализ известных работ посвященных воздействию ЭМП различной модальности и мощности показал, что основная их масса посвящена влиянию конкретного класса электромагнитных полей на конкретные органы и системы.

Например, в работе [22] приведены математические модели, связывающие патологию сердечно сосудистой системы с электромагнитной загрязненностью в черте города.

В работах [16, 18, 19] приводятся математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний от контакта человека с постоянным магнитным полем в условиях Курской магнитной аномалии в сочетании с другими факторами. Другие аналогичные работы исследуют риски других типов полей в основном без учета их сочетанного воздействия [1-3, 25].

Сложность, неопределенность и слабая изученность механизмов сочетанных воздействий электромагнитных полей различной модальности на организм человека делает затруднительными использование традиционных и широко применяемых методов прогнозирования и теории распознавания образов для решения поставленных в работе задач. Эта сложность усиливается тем, что воздействие электромагнитных полей на человека сопровождается: непостоянной интенсивностью воздействующих электромагнитных полей, трудностью учета времени воздействия на человека полей различной модальности, наличием целого ряда других экзогенных и эндогенных факторов риска с плохо учитываемой их динамикой и т.д.

В таких условиях, в соответствии с рекомендациями [4-6, 9-11, 14, 15, 17, 23, 24, 26, 28-32] целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил описанную в работах [6, 14, 15, 28].

Имеется ряд работ, посвященных качественному анализу влияния сочетанных (одна частота от разных источников) и смешанных (различные частоты) электромагнитных полей с выдвижением предположений (гипотез) о том, что сочетанные и смешанные воздействия усиливают негативный эффект от такого воздействия на организм человека.

Проведенный литературный анализ показал, что в известных источниках практически отсутствует описание моделей и алгоритмов, решающих задачи прогнозирования появления и развития сочетанных заболеваний работников электроэнергетической отрасли с достаточной для практической медицины точностью в условиях воздействия, на организм человека комплекса сочетанных эндогенных и экзогенных факторов риска.

Материалы и методы

При выборе типа решающих правил оценки влияния электромагнитных и магнитных полей на организм человека отобрана группа экспертов из восьми человек исходя из того, что на данном этапе исследований отсутствует возможность формирования репрезентативных обучающих выборок по спектру частот воздействующих на работников электроэнергетической промышленности Курской области. С учетом этого обстоятельства и с учетом рекомендаций [6, 14, 23] в качестве базовых элементов нечетких моделей прогнозирования появления и развития профессиональных заболеваний работников электроэнергетического комплекса выбраны функции принадлежности $\mu_{\ell_j}(Z_{\ell_j})$ к исследуемым классам состояний ω_{ℓ} для электромагнитных полей частотного диапазона j с базовыми переменными определяемыми выражениями:

$$Z_{\ell_j} = f_{\ell_j} \left(\frac{Q_j}{Q_j''} \right) \cdot f_{\ell_j}^*(t_j), \quad (1)$$

где Q_j - среднее значение характеристик электромагнитного поля частотного диапазона Δf_j (E_j и H_j для электромагнитных полей промышленных и радиочастот, H_0 - средняя напряженность постоянного магнитного поля земли; Q_j'' - предельно допустимый уровень напряженности (для геомагнитного поля Земли – фоновое значение поля равно 35,8 А/м); t_j - время нахождения человека в зоне действия электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j ; $f_{\ell_j}(\cdot)$ - нормировочная функция степени влияния электромагнитного поля диапазона Δf_j на появление и развитие заболевания ω_{ℓ} с областью определения $[0, \dots, 1]$; $f_{\ell_j}^*(t_j)$ - нормировочная функция степени влияния времени нахождения обследуемого под воздействием электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j .

При построении графиков функций принадлежности $\mu_{\ell_j}(Z_{\ell_j})$ эксперты руководствуются данным литературы, собственными знаниями о частоте заболеваний ω_{ℓ} вызываемых действием электромагнитных полей различной модальности, интенсивности и длительности.

Используя рекомендации [4-6, 14] экспертами были построены графики нормировочных функций для электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) $j=1$; для постоянного магнитного H_0 поля Курской магнитной аномалии $j=2$; для частотного диапазона 10, ..., 30 кГц; $j=3$; для частот 30 кГц, ..., 300 мГц; $j=4$; для частотного диапазона 0,03, ..., 300 мГц; $j=5$.

Для электромагнитного поля промышленной частоты с напряженностью электрического поля E_1 и ПДУ $E_1^{\text{П}}=5\text{кВ/м}$ получены нормировочные функции вида

$$f_1(E_1 / E_1^{\text{П}}) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1 < 0,5; \\ 0,4x_1 - 0,2, & \text{если } 0,5 \leq x_1 < 3; \\ 3C, & \text{если } x_1 \geq 3; \end{cases}$$
$$f_1(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 1; \\ 0,031(t-1)^2, & \text{если } 1 \leq t < 5; \\ 1-0,031(t-9)^2, & \text{если } 5 \leq t < 9; \\ 1, & \text{если } t \geq 9; \end{cases}$$

где $x_1 = E_1 / E_1^{\text{П}}$; 3С-запрещается работа без защитных средств.

Базовая переменная Z_1 определяется по формуле

$$Z_1 = f_1(E_1 / E_1^{\text{П}}) \cdot f_1(t) \quad (2)$$

В Железногорском районе Курской области дополнительно к ЭМППЧ на здоровье людей занятых в электроэнергетике значительное влияние оказывает постоянное магнитное поле Курской магнитной аномалии напряженностью H_0 при фоновом значении этого поля $H^{\text{П}}$

Пользуясь отчетами об экологической и санитарно-эпидемиологической обстановке в Железногорском районе Курской области и данными работ [18, 19] эксперты получили нормировочные функции вида:

$$f_2(H_0 / H^{\text{П}}) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_2 < 1; \\ 0,5x_2 - 0,5, & \text{если } 1 \leq x_2 < 3; \\ 1, & \text{если } x_2 \geq 3; \end{cases}$$

где $x_2 = (H_0 / H^{\text{П}})$

$$f_2(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 4; \\ 0,0078(t-4)^2, & \text{если } 4 \leq t < 12; \\ 1-0,0078(t-20)^2, & \text{если } 12 \leq t < 20; \\ 1, & \text{если } t \geq 20 \end{cases}$$

Базовая переменная Z_2 определяется по формуле:

$$Z_2 = f_2(H_0 / H^{\text{П}}) \cdot f_2(t) \quad (3)$$

Для частотного диапазона $f_3 = 10, \dots, 30$ кГц предельно допустимый уровень определен величиной $500 \frac{\text{В}}{\text{м}}$. Для этого диапазона частот эксперты получили выражения вида:

$$f_3(E_3 / E_3^H) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_3 < 1; \\ 0,5x_3 - 0,5, & \text{если } 1 \leq x_3 < 3; \\ 1, & \text{если } x_3 \geq 3; \end{cases}$$

$$f_H(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 4; \\ 0,056t - 0,22, & \text{если } 4 \leq t < 22; \\ 1, & \text{если } t \geq 22. \end{cases}$$

Базовая переменная Z_3 описывается выражением:

$$Z_3 = f_3(E_3 / E_3^H) \cdot f_3(t) \quad (4)$$

Для частот от 30 кГц до 300 МГц санитарные нормы и правила устанавливают ПДУ для электрической экспозиции $\mathcal{E}\mathcal{E}_E$ учитывающей время воздействия T :

$$\mathcal{E}\mathcal{E}_E = E^2 T (B/M) \cdot Ч$$

При этом: для диапазона 0,03,...,3 МГц устанавливается ПДУ = 20000 $\left(\frac{B}{M}\right) \cdot Ч$; для диапазона 3,...,30 МГц – 70000 $\left(\frac{B}{M}\right) \cdot Ч$; для диапазона 30,...,300 МГц – 800 $\left(\frac{B}{M}\right) \cdot Ч$

Поскольку при установлении ПДУ для этих диапазонов учтено время воздействия при определении соответствующих базовых переменных выражения (1) отпадает необходимость в нормировочной функции по времени таким образом:

$$Z_{ч} = f_{ч}(\mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej} / \mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej}^H) \quad (5)$$

С учетом этого для диапазона от 0,03 МГц до 300 МГц эксперты предлагают использовать единый график $f_j(\mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej} / \mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej}^H)$ ($j=4,5,6$) имея в виду что в выделяемых трех поддиапазонах происходит "сдвиг" $\mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej}^H$

$$(\mathcal{E}\mathcal{E}_{E4}^H = 20000(B/M) \cdot Ч; (\mathcal{E}\mathcal{E}_{E5}^H = 70000(B/M) \cdot Ч; (\mathcal{E}\mathcal{E}_{E6}^H = 800(B/M) \cdot Ч).$$

Соответствующие нормировочные функции описываются выражением вида:

$$Z_j = \begin{cases} 0, & \text{если } x_j < 0,5; \\ 0,5(x_j - 0,5)^2, & \text{если } 0,5 \leq x_j < 1,5; \\ 1 - 0,5(x_j - 2,5)^2, & \text{если } 1,5 \leq x_j < 2,5; \\ 1, & \text{если } x_j \geq 2,5, \end{cases}$$

где $j=4,5,6$; $x_j = \mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej} / \mathcal{E}\mathcal{E}_{Ej}^H$.

Для диапазона частот свыше 300МГц (до 300гГц) ПДУ вводится плотность потока энергии $\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}} = \text{ППЭ} \cdot T (\text{мкВт}/\text{см}^2) \cdot \text{Ч}$, которая определяется на уровне 200 ($\mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}^{\text{П}} - 200$)

Для этого диапазона частот получено «осторожное аналитическое выражение для определения базовой переменной Z_7 :

$$Z_7 = \begin{cases} 0, & \text{если } x_7 < 0,5; \\ 0,89(x_7 - 0,5)^2, & \text{если } 0,5 \leq x_7 < 1,25; \\ 1 - 0,89(x_7 - 2)^2, & \text{если } 1,25 \leq x_7 < 2; \\ 1, & \text{если } x_7 \geq 2, \end{cases} \quad (6)$$

где $x_7 = \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}} / \mathcal{E}\mathcal{E}_{\text{ППЭ}}^{\text{П}}$.

Таким образом, для решения задач оценки появления и развития профессиональных заболеваний работников электроэнергетики получен набор математических моделей расчета показателей характеризующих влияние электромагнитных и магнитных полей на состояние здоровья человека.

Результаты

В качестве конкретного примера решается задача синтеза математической модели прогнозирования заболеваний нервной системы провоцируемой действием электромагнитного поля промышленной частоты с учетом индивидуальных факторов риска.

Для синтеза прогностического решающего правила по электромагнитной составляющей промышленной частоты выбрана математическая модель (3), для которой определены нормировочные функции вида:

$$f_{H50} \left(\frac{E_{50}}{E_{50}^{\text{П}}} \right) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1 < 0,5; \\ 0,4x_1 - 0,2, & \text{если } 0,5 \leq x_1 < 3; \\ 3C, & \text{если } x_1 \geq 3, \end{cases}$$
$$f_{H50}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 1; \\ 0,031(t-1)^2, & \text{если } 1 \leq t < 5; \\ 1 - 0,031(t-9)^2, & \text{если } 5 \leq t < 9; \\ 1, & \text{если } t \geq 9, \end{cases}$$

где E_{50} – электрическая напряженность электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц); $x_1 = \frac{E_{50}}{E_{50}^{\text{П}}}$; 3С – запрещена работа без защитных средств.

Функция принадлежности к уверенности в появлении и развитии заболеваний нервной системы (класс ω_H) от действия ЭМП ПЧ аналитически описывается выражением:

$$UEP_H = \mu_{H50}(Z_{H50}) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z < 1; \\ 3,06(Z_{H50} - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq Z_{H50} < 0,4; \\ 0,55 - 3,06(Z_{H50} - 0,7)^2, & \text{если } 0,4 \leq Z_{H50} < 0,7; \\ 0,55, & \text{если } Z_{H50} \geq 0,7 \end{cases}$$

В соответствии с рекомендациями [18, 19] в качестве индивидуальных факторов риска по классу ω_H выбраны признаки: прием лекарственных средств оказывающих вредное воздействие на нервную систему; прием алкоголя; психоэмоциональные нагрузки; болезни нервной системы у близких родственников; разбаланс энергетических характеристик меридианных БАТ связанных с ситуацией болезни нервной системы.

В работах [18, 19] по этому набору признаков описана математическая модель расчета уверенности в появлении и развитии заболеваний нервной системы UPH.

Агрегация UEP_H и UPH дает финальную прогностическую модель вида:

$$U_{NB} = UEP_H + UPH - UEP_H \cdot UPH, \quad (9)$$

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было показано, что модель (9) обеспечивает уверенность в правильном прогнозе появления и развития нервных болезней у работников предприятий электроэнергетики не ниже 0,9, что является достаточно «хорошим» результатом для задач медицинской диагностики.

Заключение

В работе получены нечеткие математические модели прогнозирования и развития нервных болезней у работников электроэнергетики, где ведущим фактором риска является электромагнитное поле промышленной частоты в сочетании с индивидуальными факторами риска. В ходе экспертного оценивания и математического моделирования показано, что уверенность в правильном принятии решений по прогнозу и развитию заболеваний нервной системы превышает величину 0,85, что позволяет рекомендовать полученные результаты в практику работы профильных врачей профпатологов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиров Н.Х. Значение электромагнитных полей 50 Гц в формировании экологии окружающей среды и профессиональной деятельности оперативных работников энергообъектов / Н.Х. Амиров, Н.Е. Илюхин, М.Н. Русин // Всероссийская научная конференция с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований». Труды конференции КГУ, Т.ІУ: «Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития». Казань - 2009. - С. 17-20.
2. Амиров Н.Х. Гигиеническая оценка суточной экспозиции ЭМП 50Гц оперативного персонала энергообъектов / Н.Х. Амиров, М.Н. Русин, Н.Е. Илюхин // Материалы Всероссийской конференции, посвящённой 85-летию ГУ НИИ МТ РАМН «Медицина труда: Реализация Глобального плана действий по здоровью работающих на 2008-2017 гг.». Москва - 2008. - С. 275-276.
3. Аналитический доклад объединения РаЭл. «Вопросы сохранения и укрепления здоровья работающих, состояние профессиональных заболеваний в электроэнергетике» - Москва, 2008 [электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.rael.elektra.ru>
4. Корневский, Н.А. Проектирование нечетких решающих сетей, настраиваемых по структуре данных для задач медицинской диагностики. [Текст] / Н.А. Корневский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. Москва, 2005.Т.4.-№1. С.12-20.
5. Корневский, Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем. [Текст] / Н.А. Корневский // Медицинская техника, 2015, №1 (289) С. 33-35.
6. Корневский Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. – 472 с.
7. Корневский, Н.А. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей [Текст] / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, Р.Т. Аль-Касасбех.- Старый Оскол: ТНТ, 2013.-528с.
8. Корневский, Н.А., Крупчатников Р.А. Информационно-интеллектуальные системы для врачей рефлексотерапевтов: монография / Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 424 с.
9. Корневский, Н.А. Метод синтеза гетерогенных нечетких правил для анализа и управления состоянием биотехнических систем. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,

- вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. - 2013. - №2. - С.99-103.
10. Корневский Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей. / Н.А. Корневский // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Санкт-Петербург, 1993 – 32с.
 11. Корневский, Н.А. Синтез нечетких сетевых моделей, обучаемых по структуре данных для медицинских экспертных систем / [Текст] Н.А. Корневский, Р.А. Крупчатников, С.А. Горбатенко // Медицинская техника. - 2008. - №2. - С.18-24.
 12. 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.-С.39-46.
 13. Корневский Н.А. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] /Н.А. Корневский, В.Н. Гадалов, В.Н. Снопков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012.-Т.11.- №2.-С.515-521.
 14. 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. – 472 с.
 15. Корневский, Н.А. Синтез нечетких классификационных правил в многомерном пространстве признаков для медицинских приложений [Текст] / Н.А. Корневский, К.В. Разумова // Известия Юго-Западного государственного университета. – Серия управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. - №2. – 41. –С. 223-227.
 16. Корневский, Н.А. Магнитные и электромагнитные поля как экологический фактор внешней и производственной среды [Текст]/ Н.А. Корневский, И.А. Авилова// материалы международной НТК «Проблемы региональной экологии»: Израиль, Тель-Авив, 1999.С. 28-31.
 17. Корневский Н.А., Нечеткие модели оценки уровня эргономики технических систем и её влияния на состояние здоровья человека оператора с учетом функционального резерва его организма / Н.А. Корневский, С.Н. Родионова, Т.Н. Говорухина, М.А. Мясоедова //Моделирование, оптимизация и информационные технологии. Выпуск 1, 2019 [электронный ресурс] <https://moit.vivt.ru>

18. Кореневский Н.А. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей / Н.А. Кореневский, А.В. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак, 2012. – 231 с.
19. Кореневский Н.А. Использование технологий мягких вычислений для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников агропромышленного комплекса: монография / Р.В. Степашов, Н.А. Кореневский, А.В. Серебровский, Т.Н. Говорухина. – Курск: КГСХА, 2016. – 224 с.
20. Кореневский Н.А., Юлдашев З.М. Проектирование биотехнических систем медицинского назначения. Общие вопросы проектирования: учебник / Н.А. Кореневский, З.М. Юлдашев. – Старый Оскол: ТНТ, 2018. 312 с.
21. Методика применения экспертных методов для оценки качества продукции. – М.: Стандарт, 1975. – 31 с.
22. Минайлов Р.С. Разработка системы поддержки принятия решений при социально-гигиеническом мониторинге состояния сердечно-сосудистой системы в условиях электромагнитной загрязненности //: дис.канд.техн.наук: 05.13.01; 05.13.10: защищена 25.12.2003/Минайлов Роман Сергеевич. Курск, 2003.-131с.
23. Степашов Р.В. Синтез решающих правил для прогнозирования и диагностики заболеваний сельскохозяйственных рабочих контактирующих с ядохимикатами / Р.В. Степашов, Н.А. Кореневский, Е.С. Потапова // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2018. – Т.17. – № 3. – С. 709-717.
24. Танака, К. Итоги рассмотрения факторов неопределенности и неясности в инженерном искусстве [Текст] / К. Танака // в кн. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягеря – М.: Радио и связь, 1986. – 408с.
25. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях [Текст]: СанПин 2.2.4.1191-03:утв. Главным государственным врачом Российской Федерации, первым заместителем министра здравоохранения Российской Федерации Г.Г. Онищенко 30.01.2003 [электронный ресурс] Режим доступа. – <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>.
26. Шуткин А.Н. Проектирование баз знаний медицинских экспертных систем с использованием коллективов нечетких правил / А.Н. Шуткин, С.Н. Кореневская, В.В. Федянин // Информационные проекты в медицине и педагогике. Материалы международной научно-практической конференции. – 2014.– С. 61-64.

27. 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. – Vol.4, № 3. – 2011. – P. 175-182.
28. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. «Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data». Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis, Bucharest, Romania, May 26-29, 2009 ISSN 2066-4451, P.71-78.
29. Korenevskiy, N. A. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis [Текст] / N. A. Korenevsky, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering November 2013, Volume 47, Issue 4, pp 169-172.
30. Korenevskiy, N. A. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems [Текст] / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. - 2009. - V.43.-no.4. - P. 187-190.
31. 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, Vol.42, No.2, pp.67-72.
32. 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.

M. A. Myasoedova, N. A. Korenevskiy, L. V. Starodubtseva,
M. V. Pisarev

**MATHEMATICAL MODEL TO ASSESS THE INFLUENCE OF
ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE EMERGENCE AND
DEVELOPMENT OF OCCUPATIONAL DISEASES IN THE
ELECTRICITY SECTOR**

*South-West state University,
Kursk, Russia*

The aim of the study is to develop mathematical models for assessing the impact of electromagnetic fields of different modality and intensity on the human body providing a solution to the problems of assessing the health of people employed in the electric power industry with acceptable accuracy for medical practice. The technology of soft computing and, in particular, is chosen as the basic mathematical apparatus, the methodology of synthesis of hybrid fuzzy decision models developed in the South-West state University has proven itself in the synthesis of mathematical models of forecasting, early and differential diagnosis of diseases with a similar structure of the studied classes of States. As an example, a mathematical model for predicting the appearance and development of immune system diseases in employees of electric power enterprises of the Kursk region is described. Fuzzy mathematical models use membership functions with basic variables that take into account the intensity of the electromagnetic field of industrial frequency, work experience in the power industry and individual risk factors that provoke the appearance and development of diseases of the nervous system. In the course of mathematical modeling and expert evaluation it was shown that the use of the chosen methodology of synthesis of hybrid fuzzy mathematical models allowed to obtain a mathematical model of forecasting and development of diseases of the immune system in employees of the electric power complex with confidence exceeding 0.9.

Keywords: mathematical model, fuzzy logic, occupational diseases, immune system, power engineering, forecasting

REFERENCES

1. Amirov N.H. Znachenie elektromagnitnykh polej 50 Gc v formirovaniie ekologii okruzhayushchego sredy i professional'noj deyatel'nosti operativnykh rabotnikov energoob'ektov / N.H. Amirov, N.E. Ilyuhin, M.N. Rusin // Vserossijskaya nauchnaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Okruzhayushchaya sreda i ustojchivoerazvitiye regionov: novyye metody tekhnologii issledovaniy». Trudy konferencii KGU, T.IY: «Ekologicheskaya bezopasnost', innovacii i ustojchivoerazvitiye. Obrazovanie dlya ustojchivogo razvitiya». Kazan' - 2009. - S. 17-20.
2. Amirov N.H. Gigienicheskaya ocenka situatsii po ekspozitsii EMP 50 Gc operativnogo personala energoob'ektov / N.H. Amirov, M.N. Rusin, N.E. Ilyuhin // Materialy Vserossijskoj konferencii, posvyashchyonnoj 85-letiyu GU NII MT RAMN «Medicina truda: realizatsiya global'nogo plana dejstvij po zdorov'yurabotayushchih na 2008-2017 gg.». Moskva - 2008. - S. 275-276.

3. Analiticheskij doklad ob "edineniya RaEl.
«Voprosy sohraneniya i ukrepleniya zdorov'ya robotayushchih,
sostoyaniye professional'nykh zabolovaniy v elektroenergetike» - Moskva, 2008
[elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa <http://www.rael.elektra.ru>
4. Korenevskij, N.A. Proektirovaniye chetkihreshayushchih setej, nastraivaemyh
po strukture dannykh dlya zadach medicinskoj diagnostiki. [Tekst] / N.A.
Korenevskij // Sistemnyy analiz i upravleniye v biomedicinskih sistemah. Moskva,
2005. T.4.-№1. S.12-20.
5. Korenevskij, N.A.
Ispol'zovaniye chetkoj logiki prinyatiya reshenij dlya medicinskih ekspertnykh sistem.
[Tekst] / N.A. Korenevskij // Medicinskaya tekhnika, 2015, №1 (289) S.
33-35.
6. Korenevskij N.A.
Ocenka upravleniya sostoyaniem zdorov'ya obuchayushchih s yasnaya osnovy gibridn
yeh intellektual'nykh tekhnologiy: monografiya / A.N. SHutkin, S.A. Gorbatenko,
V.I. Serebrovskij. – Saryj Oskol: TNT, 2016. – 472 s.
7. Korenevskij, N.A. Teoreticheskie osnovy biofiziki akupunktury s
prilozheniyami v medicine,
psihologii i ekologii na osnovy chetkihreshayushchih modelej [Tekst] / N.A.
Korenevskij, R.A. Krupchatnikov, R.T. Al'-Kasasbekh.- Saryj Oskol: TNT,
2013.-528s.
8. Korenevskij, N.A., Krupchatnikov R.A. Informacionno-
intellektual'nyye sistemy dlya vrachej i refleksoterapevtov: monografiya / N.A.
Korenevskij, R.A. Krupchatnikov. – Saryj Oskol: TNT, 2013. – 424 s.
9. Korenevskij, N.A.
Metod sinteza geterogennykh chetkihreshayushchih pravil dlya analiza upravleniya
sostoyaniem biotekhnicheskikh sistem. Izvestiya Yugo-
Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravleniye,
vychislitel'naya tekhnika, informatika. Medicinskoe priborostroeniye. - 2013. -
№2. - S.99-103.
10. Korenevskij N.A.
Principy i metody postroyeniya interaktivnykh sistem diagnostiki i upravleniya
sostoyaniem zdorov'ya cheloveka na osnovy polifunkcional'nykh modelej. / N.A.
Korenevskij // Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. –
Sankt-Peterburg, 1993 – 32s.
11. Korenevskij, N.A. Sintez chetkihreshayushchih modelej, obuchaemyh po
strukture dannykh dlya medicinskih ekspertnykh sistem / [Tekst] N.A. Korenevskij,
R.A. Krupchatnikov, S.A. Gorbatenko // Medicinskaya tekhnika. - 2008. - №2.
- S.18-24.

12. Korenevskij, N.A. Sintezprognosticheskikhidiagnosticheskikhnechetkihreshayushchihpravil po elektricheskimharakteristikamproekcionnyhzhondlyamediko-ekologicheskikhprilozhenij: [Tekst] /N.A. Korenevskij, V.A. Bunyaev, R.A. Krupchatnikov // Izvestiyavuzov. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskienauki, 2009.-№4.-S.39-46.
13. Korenevskij N.A. Matematicheskimodelirefleksionnyhsistemorganizmachelovekaiihispol'zovaniedlyaprognozirovaniyaidiagnostikizabolevanij [Tekst] /N.A. Korenevskij, V.N. Gadalov, V.N. Snopkov // Sistemnyjanaliziupravlenie v biomedicinskihsistemah, 2012.-T.11.- №2.-S.515-521.
14. Korenevskij N.A. Metodologiyasintezagibridnyhnechetkihreshayushchihpravildlyamedicinskihintel'ektual'nyhsistempodderzhkipriinyatiyareshenij: monografiya / N.A. Korenevskij, S.N. Rodionova, I.I. Hripina. – StaryjOskol: TNT, 2019. – 472 s.
15. Korenevskij, N.A. Sinteznechetkihklassifikacionnyhpravil v mnogomernomprostranstvepriznakovdlyamedicinskihprilozhenij [Tekst] / N.A. Korenevskij, K.V. Razumova // IzvestiyaYUgo-Zapadnogogosudarstvennogouniversiteta. – Seriyaupravlenie, vychislitel'nayatehnika, informatika. Medicinskoepriborostroenie. – 2012. - №2. – 41. –S. 223-227.
16. Korenevskij, N. A. Magnitnyeelektromagnitnyepolyakakekologicheskijfaktorvneshnejiproizvodstvennojsredy [Tekst]/ N.A. Korenevskij, I.A. Avilova// materialy mezhdunarodnoj NTK «Problemy regional'noj ekologii»: Izrail', Tel'-Aviv, 1999.s28-31.
17. Korenevskij N.A., Nechetkiemodeliocenkiurovnyaergonomikitekhnicheskisistemieyovlianiyanasostoyaniezdorov'yachelovekaoperatora s ucheto funkcionalnogorezerva ego organizma / N.A. Korenevskij, S.N. Rodionova, T.N. Govoruhina, M.A. Myasoedova //Modelirovanie, optimizaciya i informacionnyetehnologii. Vypusk 1, 2019 [elektronnyj resurs] <https://moit.vivt.ru>
18. Korenevskij N.A. Prognozirovanieidiagnostikazabolevanij, vyzyvaemyhvrednymiproizvodstvennymiiekologicheskimi faktoraminaosnov eheterogennyhmodelej / N.A. Korenevskij, N.A. Serebrovskij, 130 V.I. Kopteva, N.A. Govoruhina. – Kursk: Izd-vo Kursk. gos. s.-h. ak, 2012. – 231 s.
19. Korenevskij N.A. Ispol'zovanie tehnologijmyagkih vychislenij dlyapronozirovaniyaidiagnostiki professional'nyh zabolevanij rabotnikov agropromyshlennogokompleksa:

- monografiya / R.V. Stepashov, N.A. Korenevskij, A.V. Serebrovskij, T.N. Govoruhina. – Kursk: KGSKHA, 2016. – 224 s.
20. Korenevskij N.A., Yuldashev Z.M. Proektirovanie biotekhnicheskikh sistem medicinskogo naznacheniya. Obshchie voprosy proektirovaniya: uchebnik / N.A. Korenevskij, Z.M. Yuldashev. – Saryj Oskol: TNT, 2018. 312 s.
21. Metodika primeneniya ekspertnykh metodov dlya ocenki kachestva produktsii. – M.: Standart, 1975. – 31 s.
22. Minaylov, R. S. development of a system to support decision-making in socially-hygienic monitoring of the cardiovascular system under conditions of electromagnetic pollution // Diss.kand.Techn.Sciences: 05.13.01; 05.13.10: protected 25.12.2003/Minaylov Roman Sergeevich. Kursk, 2003.-131c.
23. Stepashov R.V. Sintezreshayushchih pravil dlya prognozirovaniya i diagnostiki zabolevaniy sel'skoho zaystva i rabochih kontaktiruyushchih s yadovimi katami / R.V. Stepashov, N.A. Korenevskij, E.S. Potapova // Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemah. – 2018. – T.17. – № 3. – S. 709-717.
24. Tanaka, K. Itogirassmotreniya faktorov neopredelennosti i neyasnosti v inzhenernomiskusstve [Tekst] / K. Tanaka // v kn. Nechetkiy mnozhestva i teorii vozmozhnostej. Poslednie dostizheniya. Per. s angl. / Pod red. R.R. Yagerya – M.: Radio i svyaz', 1986. – 408s.
25. Fizicheskie faktory proizvodstvennojsredy. Elektromagnitnyepolya v proizvodstvennykh usloviyah [Tekst]: SanPI n 2.2.4.1191-03:utv. Glavnym gosudarstvennym vrachem Rossijskoj Federacii, pervym zamestim telom ministra zdravooohraneniya Rossijskoj Federacii G.G. Onishchenko 30.01.2003 [elektronnyj resurs] Rezhim dostupa. – <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>.
26. Shutkin A.N. Proektirovanie baznaniy medicinskih ekspertnykh sistem s ispol'zovaniem kollektivnykh pravil / A.N. SHutkin, S.N. Korenevskaya, V.V. Fedyanin // Informacionnyye proekty v medicine i pedagogike. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – 2014. – S. 61-64.
27. 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. – Vol.4, № 3. – 2011. – P. 175-182.
28. Al-Kasabeh R.T., Korenevskiy N.A., Ionescu F., Kuzmin A.A. «Synthesis of combined fuzzy decision rules based on the exploration analysis data». Proc. 4th IAFA Intern. Conference Interdisciplinary Approaches in Fractal Analysis, Bucharest, Romania, May 26-29, 2009 ISSN 2066-4451, P.71-78.

29. Korenevskiy, N. A. Use of an Interactive Method for Classification in Problems of Medical Diagnosis [Tekst] / N. A. Korenevsky, S. V. Degtyarev, S. P. Seregin, A. V. Novikov // Biomedical Engineering November 2013, Volume 47, Issue 4, pp 169-172.
30. Korenevskiy, N. A. Design of network-based fuzzy knowledge bases for medical decision-making support systems [Tekst] / N. A. Korenevsky, S.A. Gorbatenko, R.A. Krupchatnikov, M. I. Lukashov // Biomedical Engineering. - 2009. - V.43.-no.4. - P. 187-190.
31. 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, Vol.42, No.2, pp.67-72.
32. 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.