

Экспертная система прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний работников электроэнергетики

Аннотация

Рассмотрены вопросы синтеза гибридных нечетких решающих правил для базы знаний экспертной системы врачей-профпатологов, ведущих пациентов, работающих на предприятиях электроэнергетики. На примере заболеваний иммунной системы показана эффективность предложенного метода синтеза решающих правил для проблемно-ориентированной экспертной системы.

Введение

Возрастающие темпы роста научно-технического процесса требуют значительных энергетических ресурсов, вырабатываемых предприятиями электроэнергетики различных типов и назначений.

Многочисленные исследования показывают, что электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц) способствуют росту профессиональных заболеваний, риск появления и развития которых усиливается такими факторами риска, как неблагоприятный микроклимат, повышенные уровни шума и вибрации, содержание вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны, повышенное психоэмоциональное напряжение из-за постоянного ожидания возможных аварийных ситуаций и поражения электрическим током и т. д.

Часто вместе с основным промышленным электромагнитным полем (ЭМП) частотой 50 Гц на организм человека действуют сочетанные и смешанные электромагнитные поля, способные вызвать мультипликативный эффект воздействия на организм человека, приводя к повышенным рискам профессиональной заболеваемости [1], [2].

В сочетании с индивидуальными особенностями организма производственные факторы риска приводят к появлению и развитию заболеваний нервной и иммунной систем, которые, в свою очередь, провоцируют заболевания сердечно-сосудистой и мочеполовой систем, системы дыхания, пищеварения. Эффективным средством борьбы с рассматриваемым классом заболеваний является использование экспертных систем с проблемно-ориентированной базой знаний. С учетом того, что анализируемые факторы риска имеют неполную и нечеткую природу, а исследуемая структура классов обладает значительными областями пересечений, которые с трудом поддаются соответствующему аналитическому описанию при синтезе решающих правил базы знаний, в соответствии с рекомендациями [2]–[5] целесообразно использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил.

Методы исследования

Общие положения методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП) достаточно подробно описаны в работах [4], [5].

С учетом сложных механизмов взаимодействия ЭМП промышленной частоты в сочетании с другими экзогенными и эндогенными факторами риска (включая смешные и сочетанные электромагнитные поля других частотных диапазонов), в данной работе предлагается модифицированный вариант МСНРП, обеспечивающий повышение прогностической и диагностической эффективности синтезируемых решающих правил [2], [3].

Предлагаемый метод реализуется в следующей последовательности действий.

1. Группа экспертов, подготовленных к синтезу гибридных нечетких решающих правил для прогнозирования и диагностики профессиональных заболеваний в области электроэнергетики, определяет тип исследуемых предприятий [теплоэлектростанции (ТЭС), атомные электростанции (АЭС), гидроэлек-

трические станции (ГЭС), электрические подстанции, обслуживание высоковольтных линий электропередач (ЛЭП) и др.]. Для выбранного типа предприятий определяются спектр частот электромагнитного воздействия, средняя мощность и индивидуальное (персональное для каждого работника) оценочное время воздействия. Определяются факторы риска, вызываемые эргономикой и экологией предприятий электроэнергетики (кроме ЭМП).

2. При наличии репрезентативных обучающих выборок с использованием нечеткой модификации метода группового учета аргументов (МГУА), ориентированного (в составе общей методологии синтеза гибридных нечетких решающих правил) на выявление возможных мультипликативных связей между исследуемыми классами состояний и исследуемой структурой признаков (факторов риска), изучаются возможные мультипликативные эффекты воздействия ЭМП различной модальности на организм человека с построением моделей оценки уверенности в появлении и (или) развитии патологии ω_i в соответствии с выражением

$$UEP_i^d = \max[\mu_{r_i}^d(Z_{r_i})], \quad (1)$$

где UEP_i^d – уверенность в патологии ω_i по задаче d ($d = \text{пр} - \text{прогноз}$; $d = \text{рс} - \text{ранняя стадия заболевания}$); $\mu_{r_i}^d(Z_{r_i})$ – функция принадлежности к классу ω_i для модели с номером r , представляющей класс ω_i ; Z_{r_i} – базовая переменная, определяемая как мера близости от измеренных значений параметров, характеризующих электромагнитные поля и время их воздействия, до математических моделей, представляющих класс ω_i .

В работе [5] дается развернутое описание процедур синтеза нечетких моделей принятия решений на базе МГУА.

3. При отсутствии репрезентативных обучающих выборок эксперты решают задачу синтеза функций принадлежности $\mu_j(Z_j)$ к классу ω_i при условии, что для основного (50 Гц) и возможных сопутствующих частотных диапазонов на конкретных рабочих местах определена средняя напряженность электрического E и магнитного H полей.

В качестве базовых переменных для построения функций принадлежности $\mu_{ij}(Z_{ij})$ используется выражение

$$Z_{ij} = f_{ij} \left(\frac{Q_j}{Q_j^n} \right) \cdot f_{ij}^*(t_j), \quad (2)$$

где Q_j – среднее значение характеристик электромагнитного поля частотного диапазона Δf_j ; Q_j^n – предельно допустимый уровень напряженности; t_j – время нахождения человека в зоне действия электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j ; $f_{ij}(\cdot)$ – нормировочная функция степени влияния электромагнитного поля диапазона Δf_j на появление и развитие заболевания ω_i с областью определения $[0, \dots, 1]$; $f_{ij}^*(t_j)$ – нормировочная функция степени влияния времени нахождения обследуемого под воздействием электромагнитного (магнитного) поля диапазона Δf_j .

Рекомендации по построению графиков $\mu_{ij}(Z_{ij})$ с получением соответствующих аналитических моделей приведены в работах [2]–[5].

Агрегация этих функций принадлежности осуществляется в соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечетких решающих правил:

$$UEP_i = F_{lag}[\mu_{ij}(Z_{ij})], \quad (3)$$

где F_{lag} – функция агрегации по всем выбранным диапазонам частот Δf_j по классу ω_i .

При недостатке информации об искомым свойствах функций агрегации целесообразно проверить качество работы агрегатора на основе модифицированной формулы Е. Шортлифа

$$UEP(p+1) = UEP(p) + \mu_{(j+1)}(Z_{(j+1)})[1 - UEP(p)]. \quad (4)$$

Формула (4), обладающая нелинейным свойством и нелинейными характеристиками входящих в нее функций, учитывает возможное нелинейное влияние входящих в нее параметров на появление и развитие заболеваний ω_i .

4. Изучаются и выбираются дополнительные экологические и эргономические факторы риска, по которым уточняется список алфавита исследуемых классов состояния здоровья. Для выбранных классов заболеваний определяются индивидуальные факторы риска и списки показателей, которые с учетом имеющихся медико-технических и экономических ограничений целесообразно измерять у обследуемых традиционными методами, используемыми в медицине, а с учетом рекомендаций [6], возможно с применением методов рефлексодиагностики.

По этим факторам риска синтез частных решающих правил и их агрегация с моделями (1) или (3) осуществляются в соответствии с общими рекомендациями МСГНРП [4], [5].

Результаты

В качестве примера применения описанного метода решалась задача синтеза моделей прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы (класс ω_H).

Для этой патологии нормировочные функции математической модели (2) имеют вид

$$f_{H50}(E_{50}/E_{50}^H) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_1 < 0,5; \\ 0,4x_1 - 0,2, & \text{если } 0,5 \leq x_1 < 3; \\ 3C, & \text{если } x \geq 3; \end{cases}$$

$$f_{H50}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < 1; \\ 0,031(t-1)^2, & \text{если } 1 \leq t < 5; \\ 1 - 0,031(t-9)^2, & \text{если } 5 \leq t < 9; \\ 1, & \text{если } t \geq 9, \end{cases}$$

где E_{50} – электрическая напряженность электрического поля промышленной частоты (50 Гц); $x_1 = E_{50}/E_{50}^H$; $3C$ – запрещена работа без защитных средств.

Функция принадлежности к классу ω_H (высокий риск появления и развития заболеваний иммунной системы) для основной электромагнитной составляющей описывается выражением

$$\mu_H(Z_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } Z_1 < 0,1; \\ 4,8(Z_1 - 0,1)^2, & \text{если } 0,1 \leq Z_1 < 0,4; \\ 0,6 - 4,8(Z_1 - 0,6)^2, & \text{если } 0,4 \leq Z_1 < 0,6; \\ 0,6, & \text{если } Z_1 \geq 0,4. \end{cases} \quad (5)$$

Наибольшие риски экологического и эргономического характера создают котельные и турбинные отделения тепловых электростанций (ТЭС), в которых присутствуют такие факторы риска для иммунной системы, как аэрозоли, преимущественно фиброгенного действия; фенол; оксид углерода и диоксид азота. Дополнительным фактором риска является неблагоприятный климат в котельных и турбинных отделениях.

Список факторов риска класса ω_H , связанных с образом жизни и индивидуальными факторами риска, и соответствующие функции принадлежности приведены в работе [3]. Это функции принадлежности, которые агрегируются с выражением (5) в финальную прогностическую модель вида (4) для уверенности UF_H^{PP} в том, что у обследуемого появится патология иммунной системы.

Для синтеза моделей диагностики ранних стадий заболеваний иммунной системы используются показатель UF_H^{PP} и энергетическая реакция общесистемных биологически активных точек (БАТ). Описание соответствующей диагностической модели приведено в работе [3].

В результате математического моделирования и экспертного оценивания было установлено, что прогностическая и диагностическая математические модели обеспечивают уверенность в принимаемых решениях не ниже 0,9.

Это качество принимаемых решений было подтверждено результатами статистических испытаний на репрезентативных контрольных выборках, что позволяет рекомендовать полученные гибридные нечеткие модели для практического применения.

Аналогичные результаты были получены для заболеваний нервной системы.

Получаемые в процессе синтеза нечеткие решающие правила ориентированы на использование в базе знаний соответствующей экспертной системы, решающей задачи системы поддержки принятия решений (СППР) для врачей, ведущих пациентов, занятых в электроэнергетике. В работах [3], [5] показано, что для оптимизации структуры базы знаний СППР удобно использовать информационно-аналитические модели, в которых устанавливаются связи и направления взаимодействия между информативными признаками, решающими модулями и результатом принятия решений.

Применительно к решаемым задачам информационно-аналитическая модель принятия решений имеет вид, представленный на рис. 1. В процессе синтеза гибридных нечетких решающих правил эксперты, используя метод Дельфы для решения задач прогнозирования и ранней диагностики заболеваний, выбрали пять основных блоков информативных признаков.

Блок признаков, характеризующих электромагнитные излучения $EP(f_j, E_j, H_j, T_j)$, определяемый частотой f_j , электрической напряженностью E_j , магнитной напряженностью H_j и временем воздействия T_j электромагнитного поля модальностью j .

Блок признаков, характеризующий внешние воздействия $PV(ER, EK, OG)$, в который входят показатель эргономики рабочих мест (ER), экологические факторы риска (EK), признаки, описывающие факторы риска, связанные с образом жизни (OG).

Подробно модели этого блока описаны в работе [3].

Блок признаков, определяемый путем измерений параметров, снимаемых с человека $PD(IM_b, LM_b, BT_b)$, которые могут быть получены инструментальными методами исследования IM_b , лабораторными методами исследования LM_b , включая измерения энергетических характеристик биологически активных точек BT_b , «связанных» с исследуемой патологией ω_i .

В модели, представленной на рис. 1, обеспечиваются дополнительные возможности, позволяющие определять уровень функционального состояния и функционального резерва организма человека в целом и его систем. Такая опция позволяет решать задачи профессионального отбора и оценки надежности работы предприятий электроэнергетики.

Для оценки функционального состояния всего организма предлагается использовать показатели внимания PV , энергетические характеристики биологически активных точек, характеризующие функциональное состояние PB_{FS} , типовые компьютерные опросники PT . Для оценки функционального состояния исследуемых систем $\omega(FS_i)$ предлагается использовать «профильные» биологически активные точки (PFS_i) и, дополнительно для оценки функционального состояния иммунной

системы, показатели, характеризующие перекисное окисление липидов (*ПОЛ*) и антиокислительную активность (*АОА*). Для оценки функционального резерва организма используются уровень меридианной энергетики (*UME*) и показатели функционального состояния исследуемых систем *UFS_j*, измеренные до и после нормированной нагрузки *NN*. Повторные измерения проводятся через фиксированное время *T_{НБ}*.

Частные решающие правила для оценки уверенности в прогнозе (*d = пр*) и ранней стадии заболеваний (*d = рс*) реализуются частными агрегаторами *AgEP₁^d*, *AgUV₁^d* и *AgUD₁^d*, кото-

рые агрегируются финальным агрегатором *AGF₁^d*. При оценке функционального состояния всего организма определяются его основные составляющие: уровень хронического утомления (*AgYU*); уровень психоэмоционального напряжения (*AgYP*); уровень монотонии (агрегатор *YM*) и уровень функционального состояния, оцениваемый по общему разбалансу меридианной энергетики (агрегатор *AgME*). При оценке функционального состояния исследуемых систем ω_i работает агрегатор *AgFS_j*. Оценка функционального резерва организма реализуется агрегатором *AgFR*.

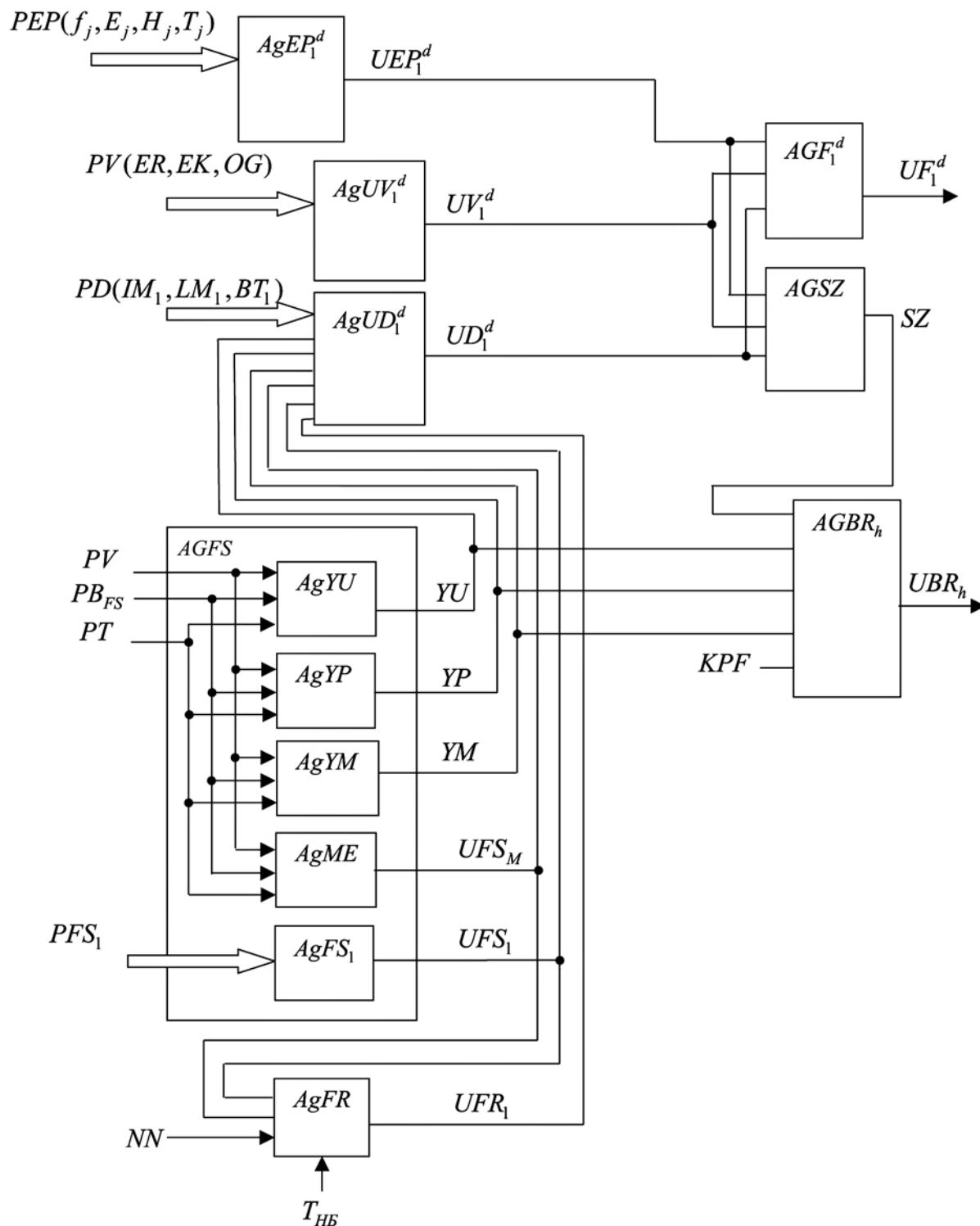


Рис. 1. Информационно-аналитическая модель принятия решений

Надежность работы человека, управляющего работой узлов и агрегатов предприятий электроэнергетики, оценивается по показателю $UBR_{\text{н}}$, формируемому агрегатором $UGBR_{\text{н}}$. При этом используется агрегатор уровня здоровья $AGSZ_{\text{н}}$.

Список литературы:

1. Амиров Н.Х., Илюхин Н.Е., Русин М.Н. Значение электромагнитных полей 50 Гц в формировании экологии окружающей среды и профессиональной деятельности оперативных работников энергообъектов / Всероссийская научная конференция с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований». Труды конференции КГУ, Т. IY: «Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития». – Казань, 2009. С. 17-20.
2. 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. Т. 9. № 2. С. 127-143.
3. Мясоедова М.А. Прогнозирование и ранняя диагностика профессиональных заболеваний работников электроэнергетической отрасли на основе гибридных нечетких моделей / Дис. канд. техн. наук. – Курск, 2019. 162 с.
4. Корневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника. 2015. № 1. С. 33-35.
5. Корневский Н.А., Родионова С.Н., Хрипина И.И. Методология синтеза гибридных нечетких решающих правил для медицинских интеллектуальных систем поддержки принятия решений. – Старый Оскол: ТНТ, 2019. 472 с.
6. Корневский Н.А., Крупчатников Р.А., Аль-Касасбех Р.Т. Теоретические основы биофизики акупунктуры с приложениями в медицине, психологии и экологии на основе нечетких сетевых моделей / Монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. 528 с.

Николай Алексеевич Корневский,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
Руслан Игоревич Сафронов,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра электротехники и электроэнергетики,
ФГБОУ ВО «Курская государственная
сельскохозяйственная академия
им. И.И. Иванова»,
Леонид Васильевич Шульга,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра охраны труда и окружающей среды,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
Геннадий Вячеславович Сиплиный,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра урологии,
ФГБОУ ВО «Курский государственный
медицинский университет»,
Евгения Владимировна Крикунова,
аспирант,
кафедра биомедицинской инженерии,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ,
РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!**

**ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ
«МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА»**

НА 2022 ГОД.

В редакции можно оформить и оплатить льготную подписку с любого месяца.

**Стоимость подписки : 1500 руб. – за один номер,
4500 руб. – на первое полугодие 2022 года (3 номера), 9000 руб. – на 2022 год (6 номеров).**

Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.